



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Ústav zdravotnických studií



ROZPOZNÁNÍ FYZICKÉHO STAVU ŘIDIČE

Bakalářská práce

Studijní program: B3944 – Biomedicínská technika
Studijní obor: 3901R032 – Biomedicínská technika
Autor práce: **Veronika Tesárková**
Vedoucí práce: prof. Ing. Aleš Richter, CSc.





TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Ústav zdravotnických studií



DETECTION OF PHYSICAL STATE OF DRIVER

Bachelor thesis

Study programme: B3944 – Biomedical Technology
Study branch: 3901R032 – Biomedical Technology

Author: **Veronika Tesárková**
Supervisor: prof. Ing. Aleš Richter, CSc.



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Ústav zdravotnických studií
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Veronika Tesárková**
Osobní číslo: **Z11000015**
Studijní program: **B3944 Biomedicínská technika**
Studijní obor: **Biomedicínská technika**
Název tématu: **Rozpoznání fyzického stavu řidiče**
Zadávající katedra: **Ústav zdravotnických studií**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cíle práce:

1. Ověřování funkce a vhodnost tlakových čidel v sedadle a hledání souvislosti s fyzickou kondicí řidiče.
2. Získávání dat z experimentálního zařízení, které obsahuje 6 páskových tlakových nikl titanových senzorů umístěných v sedačce a které bylo vyvinuto ve spolupráci s Technickou univerzitou v Liberci a Českou akademií věd.
3. Analýza získaných dat vypovídajících o fyzickém stavu řidiče.
4. Vyhodnocování pohybové aktivity řidiče např. dechové frekvence či pohybu svalstva vzhledem k získaným datům.
5. Shrnutí výsledků experimentu a doporučení pro další zkoumání dle významnosti výsledků. Teoretická východiska (včetně výstupu z BP):

Technická univerzita v Liberci vytvořila experimentální zařízení s 6 páskovými tlakovými senzory umístěnými v sedačce automobilu. S pomocí tohoto zařízení je možné získávat data, která vypovídají o fyzickém stavu řidiče. Na základě analýzy výsledných experimentálních dat bude rozhodnuto o vhodnosti aplikace snímačů pro získání informací o zdravotní kondici řidiče, bude možné posuzovat v aktuálním čase skutečný stav řidiče a bude možné zabránit autonehodě z příčin, které jsou možné zjistit a reagovat na ně díky čidlům.

Výzkumné otázky:

Je možné získat z experimentálního zařízení data o dýchání a pohybech svalstva, která vypovídají o skutečném fyzickém stavu řidiče?

Lze pomocí analýzy získaných dat vyhodnotit skutečnou pohybovou aktivitu řidiče např. dechovou frekvenci či pohyby svalstva?

Jsou výsledky analýzy shodné se skutečnou pohybovou aktivitou řidiče?

Jsou výsledky experimentu dostatečně významné pro doporučení k dalšímu zkoumání?

Metoda:

Teoreticko-výzkumná práce formou experimentu.

Technika práce, vyhodnocení dat:

Jako metodu kvantitativního výzkumu bude využit experiment. Data se budou získávat z experimentálního zařízení díky simulacím různých fyzických stavů řidiče v reálném čase, bude se sledovat vliv těchto simulací na výstup z experimentálního zařízení a získaná data se budou zpracovávat odděleně v programu Microsoft Excel. Následně se budou data vyhodnocovat a budou se hodnotit vzhledem k možnosti dalšího zkoumání.

Místo a čas realizace výzkumu:

Výzkum bude probíhat v období listopad až únor v akademickém roce 2013/2014 v laboratoři robotiky CXI na budově L Technické univerzity v Liberci.

Vzorek:

Nepředpokládá se využití respondentů.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

50 - 70 stran

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

viz příloha

Vedoucí bakalářské práce:

prof. Ing. Aleš Richter, CSc.

Ústav mechatroniky a technické informatiky

Datum zadání bakalářské práce:

12. září 2013

Termín odevzdání bakalářské práce:

30. dubna 2014

prof. Dr. Ing. Zdeněk Kús
rektor



Mgr. Marie Froňková
pověřena vedením ústavu

V Liberci dne 1. dubna 2014

Příloha zadání bakalářské práce

Seznam odborné literatury:

- KREIDL, Marcel a Radislav ŠMÍD. Technická diagnostika: senzory - metody - analýza signálu. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 408 s. ISBN 80-7300-158-6.
- POSPÍŠILOVÁ, Blanka a Olga PROCHÁZKOVÁ. Anatomie pro bakaláře I: obecná anatomie, systémy pohybové a orgánové. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2010, 155 s. ISBN 978-80-7372-675-1,
- RIPKA, Pavel. Senzory a převodníky. 2.vyd. V Praze:České vysoké učení technické, 2011,136 s. ISBN 978-80-01-04696-8,
- LANGMEIER, Miloš. Základy lékařské fyziologie. 1. vyd. Praha: Grada, 2009, 320 s. ISBN 978-80-247-2526-0,
- NEČAS, Emanuel. Obecná patologická fyziologie. 3. vyd. Praha: Karolinum, 2009, 377 s. ISBN 978-80-246-1688-9,
- VÉLE, František. Kineziologie: přehled klinické kineziologie a patokineziologie pro diagnostiku a terapii poruch pohybové soustavy. 2., rozšířené a přepracované vyd. Praha: Triton, 2007. ISBN 978-807-2548-378.
- CHOKROVERTY, Sudhansu a Robert J THOMAS. Atlas of sleep medicine. Second edition. Philadelphia: Elsevier, 2013, p.416. ISBN 978-145-5712-670.
- WEST, John B. Respiratory physiology: the essentials. 9th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams, c2012,viii,200 p. ISBN 16-091-3640-3,
- Master books on sensors: modular courses on modern sensors Leondaro da Vinci project CZ/PP-134026. Editor Pavel Ripka, Alois Típek. Praha: BEN - technical literature, 2008, 1 sv. (různé stránkování). ISBN 80-730-0129-2,
- EDITED BY MARIA T. SCHULTHEIS, Edited by Maria T.John DeLuca. Handbook for the assessment of driving capacity. 1st ed. Amsterdam: Academic Press/Elsevier, 2009, 256 s. ISBN 978-012-6312-553,
- Public roads: Featuring developments in Federal highway policies, programs, and research and technology. [online]. [cit.2013-10-31]. Dostupné z: <http://www.fhwa.dot.gov/publications/publicroads/99janfeb/effects.cfm>,
- SAJDL, Jan. Mikrospánek. Autolexicon.net [online]. 2013 [cit. 2014-01-02]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/mikrospanek/>,
- Drowsydriving.org: Warning signs [online]. [cit. 2013-10-31]. Dostupné z: <http://drowsydriving.org/about/warning-signs/>,
- National Sleep Fundation. Drowsy driving [online]. 2013 [cit. 2014-02-15]. Dostupné z: <http://www.sleepfoundation.org/article/sleep-topics/drowsy-driving>

Studentka
Veronika TESÁRKOVÁ
Z11000015
Vančurova 37
747 07 OPAVA

Vyřizuje: Zuzana Janošiková / 485 353 762

V Liberci dne 26. března 2014
č.j.: 14/8515/011818-02

Vyjádření k žádosti o ponechání tématu bakalářské práce

Vážená studentko,

na základě Vaší žádosti ze dne 18. 3. 2014, zaevidované pod č.j.: 14/8515/011818-01, Vám sděluji, že **souhlasím** se změnou v návrhu zadání bakalářské práce „Rozpoznání fyzického stavu řidiče“ dle Vaší žádosti.

S pozdravem


Mgr. Marie Froňková
pověřena vedením ústavu

Technická univerzita v Liberci
Ústav zdravotnických studií
Studentská 2, 461 17 Liberec I



Prohlášení:

Byla jsem seznámena s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL. V tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS-STAG.

Datum: 21.4.2014

Podpis: *Tesářková' Veronika*

Poděkování:

Ráda bych zde poděkovala za vedení a konzultace k této bakalářské práci a také za podporu, trpělivost, rady a inspiraci při vypracování mé bakalářské práce, kterou mi poskytl vedoucí mé bakalářské práce prof. Ing. Aleš Richter, Csc., dále paní Bc. Petra Podrazilová, doc. Ing. Pavel Rydlo, Ph.D. a Ing. Jaroslav Hanuš, Ph.D. Také bych ráda poděkovala své rodině a příteli za trpělivost a podporu v průběhu mého studia a především v posledních měsících.

Anotace v českém jazyce

Jméno a příjmení autora: Veronika Tesárková

Instituce: Technická univerzita v Liberci

Název práce: Rozpoznání fyzického stavu řidiče

Vedoucí práce: prof. Ing. Aleš Richter, Csc.

Počet stran: 62

Počet příloh: 1

Rok obhajoby: 2014

Souhrn (5-10 řádků, cca 60-100 slov):

Cílem této bakalářské práce bylo ověření funkce a vhodnosti tlakových NiTi senzorů v sedadle, hledání souvislostí s fyzickou kondicí řidiče, získávání dat z experimentálního zařízení, které obsahuje 6 páskových tlakových nikl titanových senzorů umístěných na sedačce, následná analýza a grafická úprava získaných dat vypovídajících o fyzickém stavu řidiče a vyhodnocení pohybové aktivity řidiče, především pohybové a dechové aktivity vzhledem k získaným datům. Vrcholným cílem této bakalářské práce bylo vyhodnocení a shrnutí výsledků experimentu. Důležité bylo také vytvoření závěrů z měření, případně doporučení pro další výzkum.

Klíčová slova:

Tlakové čidlo, fyzický stav, únava, řidič, dýchání

Anotace v anglickém jazyce

Name and surname: Veronika Tesárková

Institution: The technical university of Liberec

Title: Detection of physical state of driver

Supervisor: prof. Ing. Aleš Richter, Csc.

Pages: 62

Apendix:1

Year: 2014

Summary:

The aim of this bachelor thesis was to verify the functionality and suitability of NiTi pressure sensors in the seat, to search for connections with the physical condition of the driver, to obtain data from an experimental facility which includes 6 strips of nickel titanium pressure sensors on the seat, subsequent analysis and graphical adjustment of the data which testify about the physical state of the driver and to evaluate the physical activity of the driver, especially the movement and breathing activity relative to the acquired data. The final aim of this bachelor thesis was to evaluate and to sum up the results of the experiment. It was also important to form the conclusions of measurements and decide whether to recommend this experimental facility for further research or not.

Key words:

Pressure sensor, physical state, fatigue, driver, breathing

Obsah

Seznam použitých zkratk	15
1 Úvod	16
2 Stavy se zhoršenou fyzickou kondicí řidiče	17
2.1 Únava	17
2.2 Mikrospánek.....	18
2.3 Diabetes mellitus	19
2.4 Infarkt myokardu.....	19
2.5 Cévní mozková příhoda (mrtvice)	20
2.6 Zástava dechu, aspirace.....	20
2.7 Srdeční arytmie	20
2.8 Svalstvo a jeho vliv na řidiče	21
3 Zařízení pro sledování řidiče při jízdě	22
3.1 Existující, v praxi využívané systémy varování řidiče.....	22
3.1.1 Volvo.....	22
3.1.2 Ford	22
3.1.3 Volkswagen.....	23
3.1.4 Mercedes	23
3.1.5 Mobileye	23
3.2 Experimentální zařízení pro monitoraci fyzického stavu řidiče	24
3.2.1 Princip tlakových a silových senzorů.....	24
3.2.2 Podstata vynálezu.....	24
3.2.3 Sloučenina NiTi a její vlastnosti	26
4 Sledování fyzického stavu řidiče	28
4.1 Ověření vhodnosti senzorů.....	28
4.2 Měření fyzického stavu řidiče	29
4.2.1 Měření pohybové aktivity řidiče při řízení.....	30
4.2.2 Měření dechové aktivity řidiče při základním umístění senzorů	34

4.2.3	Měření dechové aktivity řidičů po změně umístění senzorů	39
4.2.4	Měření fyzického stavu řidiče při dlouhodobém sezení	47
5	Výstup bakalářské práce	54
5.1	Praktický výstup	56
6	Závěr	58
	Seznam bibliografických citací:	59
	Seznam příloh	62
	Příloha A: Compact Disk	62
	Obsah přiloženého CD	62

Seznam grafů

Graf 1:	Pohybová aktivita řidiče při druhém opakování experimentu	32
Graf 2:	Pohybová aktivita řidiče při šestém opakování experimentu	33
Graf 3:	Výstup senzorů při normálním dýchání	34
Graf 4:	Výstup senzorů při zrychleném dýchání	35
Graf 5:	Výstup senzorů při pomalém těžkém dýchání	36
Graf 6:	Výstup senzorů při částečné apnoe	37
Graf 7:	Výstup senzorů při nesnadném vydechování	38
Graf 8:	Výstup senzorů u normálního dýchání menšího z řidičů	40
Graf 9:	Výstup senzorů u normálního dýchání většího z řidičů	41
Graf 10:	Výstup senzorů u zrychleného dýchání menšího z řidičů	42
Graf 11:	Výstup senzorů u zrychleného dýchání většího z řidičů	42
Graf 12:	Výstup senzorů u pomalého těžkého dýchání menšího z řidičů	43
Graf 13:	Výstup senzorů u pomalého těžkého dýchání většího z řidičů	43
Graf 14:	Výstup senzorů u částečné apnoe menšího z řidičů	44
Graf 15:	Výstup senzorů u částečné apnoe většího z řidičů	45
Graf 16:	Výstup senzorů u nesnadného vydechování menšího z řidičů	45
Graf 17:	Výstup senzorů u nesnadného vydechování většího z řidičů	46
Graf 18:	Šum křivky pátého senzoru levé nohy	48
Graf 19:	Usazení řidiče, začátek uvolňování jeho těla a následné poposedávání	49

Graf 20: Další uvolňování těla a výrazné posazení do jiné polohy	50
Graf 21: Spánek řidiče a klid těla [29]	51
Graf 22: Náhlé probuzení řidiče [29]	52
Graf 23: Znovuposazení řidiče [29]	53

Seznam obrázků

Obrázek 1: Základní schéma senzoru a vzájemné postavení výstupků senzoru	25
Obrázek 2: Schéma senzoru po přidání dalšího pružného prvku při působení tlaku	26
Obrázek 3: Původní umístění senzorů.....	29
Obrázek 4: Upravené umístění senzorů	29

Seznam tabulek

Tabulka 1: Přehled hodnot dýchání.....	47
--	----

Seznam použitých zkratk

NiTi	nikl-titan
EEG	elektroencefalograf
EKG	elektrokardiograf
TUL	Technická univerzita v Liberci
CD	Compact Disk, datové médium
např.	například
s	sekunda
min	minuta
h	hodina
mm	milimetr
cm	centimetr
km	kilometr
dgt	digit (číslice)
kg	kilogram

1 Úvod

O kvalitní a v praxi použitelnou monitoraci fyzického stavu řidiče se pokouší v lékařských i nelékařských oborech vědci i studenti již desítky let. Existují práce a výzkumy zkoumající tuto problematiku, jsou vytvořeny i speciální laboratoře, kde se provádějí experimenty a dlouhodobá měření, dokonce existuje i řada systémů, které monitorují a vyhodnocují řidičovy pohyby, bdělost i jízdu. Většina z nich fyzický stav řidiče monitorují pomocí EEG přístroje, sledují pohyby očí kamerou, snímají a vyhodnocují řidičovy pohyby volantem, posuzují a vyhodnocují dechovou aktivitu a křivku dechu či tepovou frekvenci při stavech usínání, mikrospánku a následného spánku.

Je velmi důležité a užitečné, aby byly prozkoumány i další způsoby monitorace fyzického stavu řidiče, které by byly v praxi lépe použitelné, méně problémové a byly by schopny detekovat nastávající problém, upozornit řidiče na tento stav či dokonce započít pomocné kroky a přivolat pomoc nejen při mikrospánku a následném usnutí řidiče, ale i u dalších stavů ohrožujících řidiče. Monitoring fyzického stavu řidiče by byl užitečný i při zpětném vyšetřování dopravních nehod a mohl by sloužit podobně jako černá skříňka v letadlech.

Cílem této bakalářské práce je ověření funkce a vhodnosti tlakových čidel v sedadle, hledání souvislostí s fyzickou kondicí řidiče, získávání dat z experimentálního zařízení, které obsahuje 6 páskových tlakových nikl titanových senzorů umístěných na sedačce a které bylo vyvinuto ve spolupráci s Technickou univerzitou v Liberci a Českou akademií věd, následná analýza získaných dat vypovídajících o fyzickém stavu řidiče a vyhodnocení pohybové aktivity řidiče, především dechové frekvence a pohybu svalstva vzhledem k získaným datům. Konečným cílem této bakalářské práce je vyhodnocení a shrnutí výsledků experimentu a vytvoření závěrů z měření, případně doporučení pro další výzkum.

2 Stavy se zhoršenou fyzickou kondicí řidiče

2.1 Únava

Únava bývá často definována jako stav organismu, kdy je snížena schopnost vykonávat danou činnost kvůli předchozímu úsilí. Únava, která s rostoucí dobou zesiluje své účinky na organismus, plynule přechází v hypnagogický stav, který popisuje přechodnou fázi mezi bděním a spánkem. V případě usínání dochází k modifikaci dechové aktivity, kdy se dechová frekvence zpomaluje a amplituda se prohlubuje v kontextu se zavíráním očí. Fyziologický myoklonus se objevuje při usínání a spánku drobnými a často multifokálními záškuby obličeje a končetin. Při usínání se postupně snižuje svalové napětí spolu s pozorností, krevní tlak i tepová frekvence se mění spolu s frekvencí dýchacího rytmu. [11][12][13][18]

Hypnagogium může být rozčleněno na tři základní části. Nejdříve nastává první fáze s výraznou motorikou těla, kdy se řidič snaží přesunout do pohodlnější pozice, ve které odlehčuje kosternímu i posturálnímu svalstvu. Následně dochází k postupnému a pozvolnému snižování napětí u kosterního svalstva a k nesymetrickému uvolňování končetin. V druhé fázi hypnagogického stavu následuje prohloubené pomalejší dýchání, při kterém řidič nevědomky zavírá oči a může docházet k padání hlavy na stranu, dozadu či dopředu. Poslední fáze je charakterizována silnými svalovými záškuby, které mohou jedince na krátký čas probudit, v opačném případě dojde k usnutí jedince. [11][13][18]

Při značné únavě řidiči mohou mít či mají pomalejší reakce na rozličné vnější podněty. Příkladem může být opožděné vypnutí dálkových světel, výskyt částečně i výrazně rozmazaného vidění, při kterém se obraz okolí začne slévat a je stále obtížnější rozlišovat detaily, zhoršený úsudek a zkreslené vnímání, kdy řidič může mít problémy se zpracováním a posuzováním aktuálně důležitých informací. Problémem se může stát i pokles výkonnosti a bdělosti či změna chování řidiče, která se nejdříve projevuje jeho zvýšenou náladovostí a může přerůst až v nebezpečné agresivní chování. [19][20][22][24]

2.2 Mikrospánek

Mikrospánek, kterému předchází hypnagogický stav, může trvat 3 až 15 sekund. Po uplynutí této doby dojde k probuzení či usnutí jedince. Ke vzniku mikrospánku může přispět velké množství faktorů - nevyspání, těžká jídla, špatné větrání a teplo v kabině, spící spolujezdec a především dlouhá monotónní jízda, která nastává většinou na dálnicích. V průběhu klidné stereotypní ničím výrazně nerušené jízdy mozek z těla a smyslových orgánů dostává stále stejné vzruchy a informace a po čase začne tyto pravidelné, stále opakující se vzruchy vyhodnocovat jako klidový stav. V tomto okamžiku se řidiči mohou klížit oči, objevuje se rozmazané vidění a reaktivita na vnější podněty klesá. Mозek v odpovědi na klidový stav sníží i svou aktivitu a nastává mikrospánek.[12][18][19][20][21]

V případě mikrospánku u jedoucího řidiče může dojít při samotném probuzení k neadekvátní reakci, kdy řidič začne pravděpodobně jednat zmatečně, panicky a pro ostatní účastníky silničního provozu téměř nevyzpytatelně. Není to většinou fáze mikrospánku a nereaktivita řidiče, která vede k dopravní nehodě, ale právě fáze náhlého probuzení po různě dlouhém mikrospánku, kdy může řidič nepochopitelně a náhle strhnout volant na stranu či výrazně přidat plyn.[18][21][22]

Výzkumy mikrospánku prokazují, že pokud řidič trpí únavou či nedostatkem spánku a odpočinku, musí se více soustředit na směr jízdy. Jeho pohyby volantem jsou trhavější a prokazatelně více s volantem manipuluje ve snaze korigovat vozidlo, které na vozovce většinou často výrazně mění směr. Pohyb vozidla přitom není lineární v přímém směru, ale pohybuje se od krajnice až ke středové čáře, přičemž často přejíždí hranice vozovky a může se ocitnout až v protisměru. Naproti tomu odpočínutý svěží řidič řídí plynuleji, sleduje přibližně stejnou lineární stopu a jeho pohyby jsou plynulejší a rozvážnější. Odpočatý řidič také lépe drží konstantní průměrnou rychlost. Šedesát procent unavených řidičů neustále zrychluje a zpomaluje. S únavou roste i reakční doba řidiče.[20][21]

2.3 Diabetes mellitus

Diabetes mellitus je metabolické onemocnění nerovnováhy sekrece inzulinu a vstřebávání cukrů. Řidiče ohrožuje především hypoglykemické kóma, které nastává při nedostatku cukru v krvi. Řidič však při hypoglykémii může být nebezpečný ještě před upadnutím do kómatu, protože se vlivem nedostatku cukru v krvi mění bdělost, ostražitost i chování řidiče. Řidič může být ospalý, jeho reakce na okolní podněty jsou pomalejší, může se stát agresivním a kvalitu jeho řízení může ovlivnit i různě silné záškuby v končetinách. K hypoglykémii u řidiče může dojít z několika příčin. Důvodem může být nadměrná dávka insulínu, nedostatek či vynechání jídla. Pokud diabetik nedodrží základní opatření, jako jsou přestávky v jízdě, pravidelný přísun jídla a případě i adekvátní dávky insulínu vzhledem k počasí či fyzické zátěži, tak dochází k hypoglykémii, hlubokému a rychlému (Kussmaulovu) dýchání, ke křečovitým záškubům svalů a nakonec až k upadání do bezvědomí a kómatu. Při dlouhodobém řízení může nastat problém i při normální dávce insulínu a pravidelném jídle v případě, že díky nedostatečné fyzické námaze hladina cukru v krvi stoupá a dochází k hyperglykémii. Hyperglykémie však neohrožuje řidiče tak, jako hypoglykémie. [7][9][17]

2.4 Infarkt myokardu

Infarkt myokardu je náhlé nekrotické onemocnění srdce, kdy dochází k zúžení či k úplnému uzavěru tepny srdce, nejčastěji kvůli aterosklerotickým změnám. Vlivem úporné bolesti na hrudi dochází ke změnám v záznamech dechové aktivity a to buď k dušnosti, k zadržení dechu a opatrnému zrychlenému povrchnímu dýchání, nebo naopak hluboké dýchání. Jedinec si také často tlačí jednou rukou na hrudník v místě bolesti a také zakulacuje záda a tlačí jimi do sedadla, čímž tvoří hyperkyfózu. Snižuje se ostražitost i reakční doba řidiče, může dojít k bezvědomí.[3][8][10]

2.5 Cévní mozková příhoda (mrtvice)

Cévní mozková příhoda je trombotické onemocnění mozku, kdy dochází k ucpání cévy v mozku a tím pádem i k zástavě zásobení určité části mozku kyslíkem převážně díky aterosklerotickým změnám či vysokému krevnímu tlaku. Tento stav se odráží na ztrátě tonu v určitých svalových skupinách, čímž přichází deficit citlivosti a mobility dotčených struktur těla, poruchy vědomí (závratě, bolest hlavy, kóma) s útlumem dýchání a srdeční činnosti. Komplikace s řízením motorového vozidla u řidiče po již prodělané cévní mozkové příhodě nemusí být vždy patrné, avšak dle výzkumů se často objevují problémy s otáčením volantu doleva spolu s nedostatečnou rychlostí zpracování problému a špatnou koncentrací. Jeden z experimentů na pacientech s prodělanou cévní mozkovou příhodou poukázal i na závažnější problémy s nepozorností a nedbalostí vizuálního podnětu.[8][10][17]

2.6 Zástava dechu, aspirace

Zástava dechu, aspirace (vdechnutí tekutiny, jídla) následována zástavou dechu je problematická a může vést k bezvědomí. Může se jednat o pozvolný i náhlý průběh. Dechová aktivita může být rovněž různorodá – např. kašlání, pomalé dýchání vedoucí k apnoe i zrychlené dýchání vedoucí až k tetanickým křečím.[8][15]

2.7 Srdeční arytmie

Srdeční arytmie neboli nepravidelný tep je stav, kdy dochází k poruše srdečního rytmu z různých důvodů. Arytmie lze dělit na bradykardii, kdy je srdeční frekvence pravidelná a nižší než 60/min, tachykardii, kdy je srdeční frekvence pravidelná a vyšší než 100/min, bradyarytmii, kdy je srdeční frekvence nižší než 60/min a navíc je nepravidelná a tachyarytmii, kdy je srdeční frekvence vyšší než 100/min a navíc je nepravidelná. Vznikají jako důsledek poruchy srdeční frekvence, odlišného vytváření nebo vedení elektrických vzruchů v srdci. Jsou zachytitelné na EKG. Při arytmii má

jedinec nesnadné dýchání až apnoi, nepravidelný a chaotický tep, je zde vysoká možnost omdlení a uvolnění celého těla.[3][8][10]

2.8 Svalstvo a jeho vliv na řidiče

Rozlišují se kosterní svaly pomalé, které konají statickou práci, jsou méně výkonné a méně unavitelné (např. posturální svaly) a které ztrácí tonus v případě ztráty vědomí, a rychlé, které umožňují rychlý, intenzivní, ale krátkodobý výkon (např. svaly paže) a které mají výraznou ztrátu tonu při únavě v souvislosti s jejich hypokinezi (omezená hybnost).[3][6][7]

Při dlouhém sezení se některé svalové skupiny uvolňují na úkor jiných. Většinou se postupně uvolňují hýžděové svaly a bederní svalstvo, čímž se bedra více vyklenují dopředu a tím tvoří hyperlordózu. Zdá by se mohla výrazněji zakulacovat směrem do autosedačky, v našem případě do sedačky, a ramena jsou ztuhlá, vysunutá dopředu nebo vyvýšená směrem k uším (zkrácený krk). Hrudník se snaží nést váhu těla spolu se ztuhlými rameny. Hlava je zakloněna temenem k opěrce a s bradou vysunutou dopředu. Sníží se rychlost dýchání i plicní ventilace, jelikož plíce jsou utlačovány změnou pozicí ramen a zmenšením a stlačením hrudního koše. [4][6]

Křeče a třes kosterního svalstva mohou být způsobeny tetanismem, hypoglykemií či epilepsií. U epilepsie je to možné v případě vyléčené dětské epilepsie, kdy je však možný návrat záchvatu při velkém stresu, či v případě již přeléčené epilepsie, kdy zákon umožňuje řízení tohoto pacienta. Typicky dochází k náhlým křečím svalů těla i dýchacích svalů, hlubokému dýchání až apnoi (při zapadnutí jazyka) a bezvědomí.[8][9][17]

3 Zařízení pro sledování řidiče při jízdě

V současné době existuje několik v praxi využívaných systémů pro sledování jízdy řidiče, jeho únavy, pohybů volantem a dalších úkonů řidiče. Existující systémy nejsou schopny předvídat vývoj stavu a úkonů řidiče, pouze jsou schopny detekovat aktuální stav a upozornit na něj. Mnohé z těchto systémů jsou vyvíjeny a provozovány za podpory a pomoci velkých automobilek např. Mercedes, Volkswagen či Ford. Všechny tyto systémy varování řidiče a jejich komponenty slouží zejména k prevenci nehod a ke korigování řidičovy jízdy. V konečném důsledku rozhodnutí, zda si odpočinout či ne, závisí pouze na řidiči. [11][25]

3.1 Existující, v praxi využívané systémy varování řidiče

3.1.1 Volvo

Systém varování řidiče, který můžeme najít ve vozech automobilky Volvo, se spouští při rychlosti nad 65km/h a zůstává aktivní i až do snížení rychlosti na 60km/h. Pomocí digitální kamery monitoruje vozovku před vozem a upozorní řidiče na bezdůvodné přejetí jízdních pruhů. Systém je schopný rozlišovat kontrolovaný a klidný způsob řízení od nekontrolovaného a neklidného způsobu řízení. Po celou dobu jízdy informuje řidiče kontrolka o aktuálním stavu a při překročení daného limitu řidiče upozorní zvukovým signálem. Tento systém je dokonce schopen vyhodnotit stav, kdy se řidič příliš soustředí na svůj mobilní telefon či dítě v autě a nevěnuje tudíž dostatečnou pozornost řízení. [11][25]

3.1.2 Ford

Systém varování řidiče, jenž je umístěn ve vozech Ford, reaguje na náhlé vychýlení automobilu z požadovaného směru jízdy, např. v případě mikrospánku řidiče či v dalších situacích, kdy řidič není schopen řádně ovládat vůz, a koriguje automobil

zpět do řádného směru. Systém funguje na principu sledování vodorovného dopravního značení po obou stranách automobilu malou kamerou, umístěnou na zadní straně vnitřního zpětného zrcátka. Systém také analyzuje aktuální směr jízdy vzhledem k čarám jízdních pruhů. V případě nalezení rozporu v předpokládaných a zjištěných informacích systém vydá upozornění s následnou varovnou zprávou. Pokud není zpráva potvrzena řidičem, aktivují se postupy korigující jízdu automobilu. Systém může být resetován pouze zastavením automobilu a otevřením dveří.[11]

3.1.3 Volkswagen

Systém varování řidiče, který můžeme najít ve vozech značky Volkswagen, pracuje na principu sledování úhlu natočení volantu, ovládání pedálu plynu, příčného zrychlení, také analyzuje různé projevy ovládacích úkonů řidiče. Při jízdě nad 64 km/h systém neustále analyzuje dopravní značení. Pokud systém zachytí příznaky řidičovy únavy, upozorní ho kontrolkou ve tvaru kouřící kávy s nápisem doporučujícím řidiči přestávku.[11][26]

3.1.4 Mercedes

Systém varování řidiče, který se nachází ve vozech Mercedes, snímá a zpracovává obraz vozovky, jejího značení a reakcí řidiče. Systém analyzuje stupeň únavy řidiče i řidičům úmysl vyjet z jízdního pruhu. Při každé jízdě se během počáteční fáze řízení vytváří profil aktuálního řidiče, který se ukládá do elektronické řídicí jednotky. Během zbytku cesty se takto získaná data neustále porovnávají s aktuálními daty o řidičově jízdě.[11]

3.1.5 Mobileye

Tento systém varování řidiče je v dnešní době používána ve vozech značky BMW a Volvo. Varuje řidiče před neúmyslným opuštěním jízdního pruhu a před kolizí

s autem jedoucím před řidičovým vozidlem, analyzuje aktuální odstup vozidel mezi sebou, rozpoznává dopravní značení a detekuje přítomnost chodců či jízdních kol. [11]

3.2 Experimentální zařízení pro monitoraci fyzického stavu řidiče

Na Technické univerzitě v Liberci bylo ve spolupráci s Českou akademií věd vytvořeno experimentální zařízení s 6 páskovými tlakovými NiTi senzory. S pomocí tohoto zařízení by mohlo být možné získávat data, která vypovídají o fyzickém stavu řidiče – především o pohybech svalstva a dýchačích aktivitě řidiče.

3.2.1 Princip tlakových a silových senzorů

Každý senzor může být definován jako zařízení pro získání a zpracování informace, která je přenášena signálem. Signálem může být chápána jakákoli fyzikální měřitelná veličina, např. odpor, tlak, svítivost či napětí. V dnešní době existuje mnoho typů tlakových či silových senzorů. Měření tlaku pomocí různých typů tenzometrů je téměř vždy možné převést na měření síly a naopak. Principy snímačů tlaku a síly jsou velmi podobné, ačkoli se snímače mohou konstrukčně velmi lišit. Míra zatížení těchto snímačů je měřena nepřímo změnou další fyzikální veličiny, ve většině případů elektrického odporu, pomocí převodníku daného snímače, kterým je naměřená síla převedena pomocí pružného deformačního členu, nebo přímým převodem působící síly na elektrickou veličinu.[2][5][16]

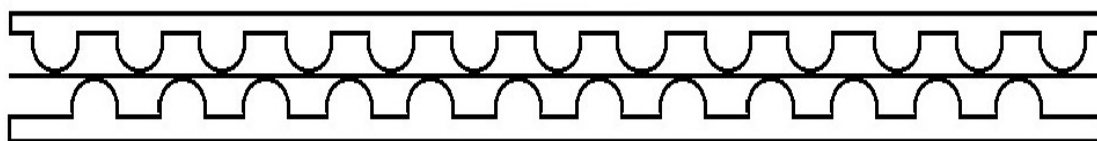
3.2.2 Podstata vynálezu

Senzor tlaku funguje na principu měření elektrické veličiny - tlaku. Působením tlaku na senzor se vytvoří deformační síla, která způsobuje deformaci jednotlivých drátů převodníku a která takto vytváří změnu odporu převodníku. První částí senzoru je převodník, který je vlastním snímacím členem senzoru a převádí tlak či sílu na změnu jiné fyzikální veličiny – elektrického odporu. Druhou částí senzoru je jeho vlastní tělo,

do kterého je převodník umístěn a které svou konstrukcí musí zajistit správné přenášení dat o tlaku či síle. Tento vynález se od ostatních senzorů tlaku či síly odlišuje především v materiálu převodníku a v uspořádání senzoru a převodníku – v převodu změny tlaku či síly na deformaci převodníku. Materiál důležitých oblastí převodníku musí mít tvarovou paměť, nebo musí být z kovů, přičemž jejich elektrický odpor je velmi závislý na deformaci. Princip deformačního převodníku spočívá v převodu tlaku či síly, působící na senzor, na deformaci materiálu převodníku, přičemž deformační převodníky jsou pružnými členy senzoru. Tenzometrické senzory se skládají z kovového či polovodičového pásku. Deformací těchto pásků dochází ke změně elektrického odporu, která je přímo úměrná působícímu tlaku či síle.[1]

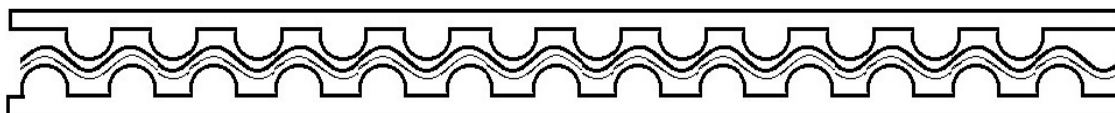
Senzor používá vlákna ze slitin s tvarovou pamětí, jejichž deformace závisí na působícím tlaku či síle. Použitá slitina s tvarovou pamětí je slitina niklu a titanu (NiTi), kde je téměř totožný poměr jednotlivých prvků. Slitina niklu a titanu je schopna existovat ve třech fázích: Austenit, Martensit a R-fáze. [1]

Princip senzoru proto spočívá v převodu měřeného tlaku na elektrický odpor. Senzor je zkonstruován ze dvou základních protilehlých částí, mezi nimiž prochází výše zmíněná vlákna ze slitin s tvarovou pamětí. Navzájem protilehlé části by měly být vytvořeny z pružných materiálů, aby celková konstrukce senzoru byla poddajná. Tyto protilehlé části mají vhodné vzájemné postavení i profil s výstupky a toto základní zobrazení je vyobrazeno na Obrázek 1. Tyto výstupky jedné části senzoru se vnořují do mezery mezi výstupky druhé části senzoru jak je vidět na Obrázek 2. Proto při působení vnějšího tlaku se k sobě tyto části přibližují a jejich profily do sebe navzájem zapadají, což má za následek deformaci mezi nimi umístěných vláken. Vnější silové působení vytvoří na vláknech Martensitickou vratnou fázovou transformaci, díky níž jsou tato vlákna oproti jiným běžným vláknům schopna značné zpětné deformace. Při této vratné fázové transformaci dochází u pevných skupenství látek ke změně krystalické mřížky, což má za následek velké změny v elektrickém odporu vláken.[1]



Obrázek 1: Základní schéma senzoru a vzájemné postavení výstupků senzoru

Citlivost senzoru můžeme upravit zvolením velikosti přepětí vláken ze slitin s tvarovou pamětí, s kterou jsou napnuta mezi jednotlivými protilehlými částmi senzoru, vložením dalších pružných prvků s různou tuhostí k již nataženým vláknům mezi jednotlivé protilehlé části senzoru, přičemž tuhost těchto pružných prvků ovlivňuje vztah mezi působícím tlakem a měřeným elektrickým odporem, a různým tepelným zpracováním vláken ze slitin s tvarovou pamětí, při kterém je ovlivněn výsledný vztah mezi elektrickým odporem a deformací tepelně zpracovaného vlákna. Výsledná konstrukce senzoru je uzpůsobena tak, aby velikostí, tvarem protilehlých částí senzoru, či mírou přepětí vláken ze slitin s tvarovou pamětí nebyla vlákna deformována za mez jejich vratné deformovatelnosti. Díky těmto konstrukčním opatřením je zajištěna dostatečná ochrana vláken při výrazném vnějším zatížení. Proto při úplném zasunutí jednotlivých navzájem protilehlých částí do sebe nedojde k další deformaci vláken ani k jejich poškození z důvodu překročení meze jejich deformovatelnosti.[1]



Obrázek 2: Schéma senzoru po přidání dalšího pružného prvku při působení tlaku

3.2.3 Sloučenina NiTi a její vlastnosti

U sloučeniny NiTi byla tvarová paměť, která umožňuje návrat sloučeniny po vystavení jistých účinků do původního stavu, objevena v druhé polovině dvacátých let W. J. Buehlerem, který pracoval pro U. S. Naval Ordnance Laboratory a nazval ji NiTiNOL (Nickel Titanium Naval Ordnance Laboratory). Později se díky její odolnosti vůči korozi, vysoké stabilitě a dalším vlastnostem stávala více laboratořemi vyhledávanou, avšak v praxi bylo její využití velmi omezeno její vysokou cenou a obtížnou výrobou. Proto se tato sloučenina nejdříve prosazovala především ve vojenském průmyslu a medicíně, kde je složitost výroby i vysoká cena akceptovatelná a nehraje tak vysokou roli v rozhodování.[14]

Nitinol je sloučenina 53% až 57% niklu s titanem, která je velmi stabilní sloučenina a dobře odolná korozi. Vyskytují se u ní dvě fáze, jejichž přechod z jedné na druhou se jmenuje martenzitická transformace, při níž dochází k posunu atomů

v kratších než meziatomárních vzdálenostech. První fází je austenit, kdy sloučenina prochází při vyšších teplotách, je velmi symetrická a má prostorově centrovanou kubickou mřížku B2, v jejímž centru je atom niklu a okolo něj rozmístěno osm atomů titanu. Martensit je druhou fází, v kterou sloučenina přechází při nižších teplotách. Je značně složitější, není tak symetrická a má monoklinickou strukturu B19. U této sloučeniny je velmi důležité přesné dodržování poměru niklu a titanu, jelikož již při odchylce desetiny procenta dochází ke změně transformačních teplot až o 10 Kelvinů.[14]

4 Sledování fyzického stavu řidiče

Pro sledování fyzického stavu řidiče jsem v této bakalářské práci použila experimentální zařízení popsané v kapitole 3.2. Nejdříve jsem se pokoušela ověřit vhodnost a správnost umístění tlakových senzorů na sedačce a následně pomocí těchto senzorů monitorovat fyzický stav řidiče a to především jeho vědomě řízené i nevědomé pohyby a simulovanou dechovou aktivitu, která je charakteristická u určitých situací či zdravotních komplikací. Data z jednotlivých senzorů byly snímány v reálném čase a byly uloženy v textovém formátu. Pro následné úpravy a grafické zobrazení byl použit program Microsoft Excel, ve kterém se získaná data upravovala odděleně a zpracovávala do podoby grafů. Celý tento experiment byl prováděn od listopadu do února ve školním akademickém roce 2013/2014 v laboratoři robotiky CXI na budově L Technické univerzity v Liberci.

4.1 Ověření vhodnosti senzorů

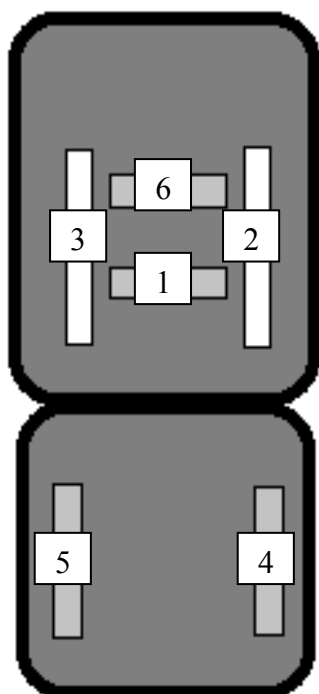
Základním stavebním kamenem a zároveň prvotní výzkumnou otázkou této bakalářské práce bylo ověření funkčnosti experimentálního zařízení a zjištění, zda je možné získat z experimentálního zařízení obsahujícího šest páskových tlakových nikl titanových senzorů realistická data vypovídající o fyzickém stavu řidiče sedícím na sedačce. Rozložení jednotlivých očíslovaných tlakových senzorů bylo následující: dva senzory umístěné ve vertikálním směru byly použity na snímání stehén, dva v horizontální poloze na snímání bederní a zádové části a dva ve vertikální poloze pro snímání boční části zad a především paží. Rozložení senzorů na sedačce je zobrazeno na

Obrázek 3.

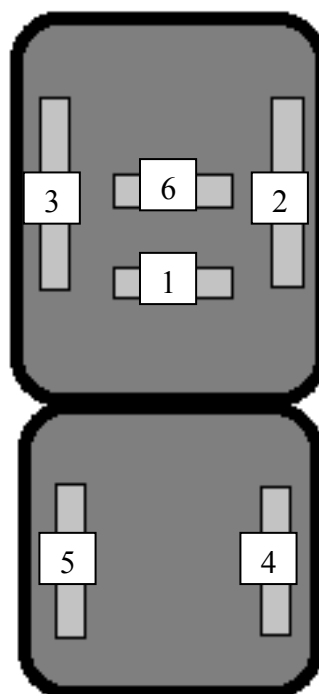
Nejdříve bylo nutné ověřit, zda při posazení jedince do sedačky všechny senzory dostatečně reagují a odpovídají svými výstupními daty poloze těla jedince. Již po prvním pokusu byla zjištěna nedostatečná reaktivita druhého senzoru pravé ruky a třetího senzoru levé ruky, a proto jsem doporučila mírné přesunutí druhého senzoru pravé ruky více na pravou stranu, třetího senzoru levé ruky více na levou stranu a oba

dva senzory výše, protože jejich výstupní signály nebyly dostatečně silné a vzájemně se překrývaly s výstupními signály šestého zádového senzoru.

Po jejich mírném přesunutí zhruba o 4 až 5cm v horizontálním směru a zhruba o 8 cm ve vertikálním směru, jak je zobrazeno na Obrázek 4, senzory mnohem lépe reagovaly na řidičovu pohybovou i dechovou aktivitu a jejich výstupní data se značně zlepšily a zvýraznily. Tělo řidiče, především záda a část zadní strany paží, se totiž výrazněji lépe dotýkaly v místě umístění druhého senzoru pravé ruky a třetího senzoru levé ruky, čímž se zkvalitnily a zesílily výstupní data a jejich hodnoty již nebyly tak výrazně zanedbatelné vůči hodnotám ze zbývajících senzorů.



Obrázek 3: Původní umístění senzorů



Obrázek 4: Upravené umístění senzorů

4.2 Měření fyzického stavu řidiče

Při experimentálním měření pohybové aktivity řidiče i jeho dýchací aktivity na experimentálním zařízení, které je popsáno v kapitole 3.2, se vlivem tlaku řidičova těla působícího na jednotlivé senzory deformovaly dráty páskových senzorů. Data, která

vystupovala ze senzorů při tomto působení, charakterizovala relativní posun hodnot od výchozích hodnot nastavených na jednotlivých senzorech za jednotku času. Výchozí hodnoty u prvního až šestého tlakového senzoru byly nastaveny na různou hodnotu, aby bylo usnadněno následné čtení z grafů celkových hodnot i zpětná rekonstrukce reálného fyzického stavu řidiče z výstupních dat. Experimentální zařízení se šesti tlakovými NiTi senzory snímalo fyzický stav řidiče rychlostí 25 hodnot relativního posunutí v digitech za sekundu, a proto bylo při následném tvoření grafů v programu Microsoft Excel nutné tuto skutečnost brát v potaz a upravit hodnoty vodorovné osy. Díky této úpravě je možné pozorovat a porovnávat hodnoty grafu v sekundách a graf se tak stává lépe čitelným a přehledným.

4.2.1 Měření pohybové aktivity řidiče při řízení

Před začátkem prvního měření jsem vytvořila experimentální systém, který obsahuje souhrn po sobě následujících běžných pohybových úkonů během klasické jízdy řidiče. Vytvořením tohoto systému jsem při měření mohla ověřit schopnost senzorů správně snímat různorodé a pro jízdu typické pohyby řidiče a zjistit, které pohyby jsou kvalitně měřitelné a které naopak nejsou zaznamenatelné danými senzory. Vytvořením tohoto experimentálního systému pohybů řidiče jsem mohla následně analyzovat výstupní data, pokusit se z výstupních dat vytvořit zpětnou rekonstrukci pohybové aktivity řidiče a porovnat tuto zrekonstruovanou pohybovou aktivitu řidiče s reálnou pohybovou aktivitou řidiče. Během prvního experimentálního měření jsem sledovala a ukládala výstupní signály pro pozdější úpravu a analýzu v programu Microsoft Excel. Při každém jednotlivém experimentu závisela výsledná data na stavbě řidičova těla a na posazení řidiče, proto se někdy během měření mohlo stát, že křivka jednoho z párového senzoru měla mnohem výraznější výchylky hodnot a byla schopna lépe zobrazit aktuální fyzický stav, pohyby řidiče i jeho dechovou aktivitu.

Systém pohybových úkonů řidiče se skládal ze startování, kdy většinou dochází k mírnému předklonění řidiče kvůli otočení klíčem od zapalování pravou rukou a ke sešlápnutí pedálu spojky levou nohou, vyjíždění, kdy se řidič výrazněji opírá trupem do sedačky, sešlápnutí pedálu plynu pravou nohou a zařadí rychlost pravou rukou, otáčení volantu doprava a doleva, dále z brzdění, které vychází ze sešlápnutí pedálu brzdy levou nohou a možného trhavého pohybu trupu směrem do sedačky při náhlém

a výrazném brzdění, a couvání, kdy řidič často vytočí trup doprava, levá ruka uchopuje pevně volant a točí s ním, kdežto pravá ruka může být opřena o sedačku spolujezdce, což má za následek výrazný tlak na pravou stranu sedačky.

Tento experiment jsem osm-krát opakovala s různou intenzitou pohybů, aby bylo prokazatelné, zda senzory pravdivě a aktuálně snímaly veškeré pohyby řidiče i sílu a intenzitu pohybů jeho těla a končetin. Jeden experimentální úsek pohybů byl, po prvotním nastudování jednotlivých typů pohybů, snímán průměrně 1 minutu, během které jednotlivé pohybové úkony v sérii za sebou okamžitě plynule následovaly a jednotlivé série pohybových úkonů byly pro lepší čitelnost a přehlednost dat odděleny výrazným předklonem řidiče na sedačce. Při vytvoření grafu ze všech získaných dat z jednoho měření v programu Microsoft Excel byly v celkovém grafu výrazně potlačeny důležité části křivek u některých senzorů, graf byl velice špatně interpretovatelný a značně nečitelný, a proto bylo nutné rozdělit jednotlivé části měření a vytvořit z každého z nich samostatný graf, který nijak nepotlačoval ani nezkresloval důležité hodnoty a křivky. Jako příklad úpravy získaných dat a jejich grafického zobrazení jsem z celkového měření náhodně vybrala dva grafy. Graf 1 a Graf 2 ukazují dva vybrané opakované úseky experimentu. Jejich vzájemná podobnost je okem velmi dobře postřehnutelná, avšak šířka, výška, míra a příkrost klesání či stoupání hodnot křivek se různě mění v závislosti na intenzitě a síle řidičových pohybů a na tlacích působících na jednotlivé senzory experimentálního zařízení vytvořených pohybem těla řidiče.

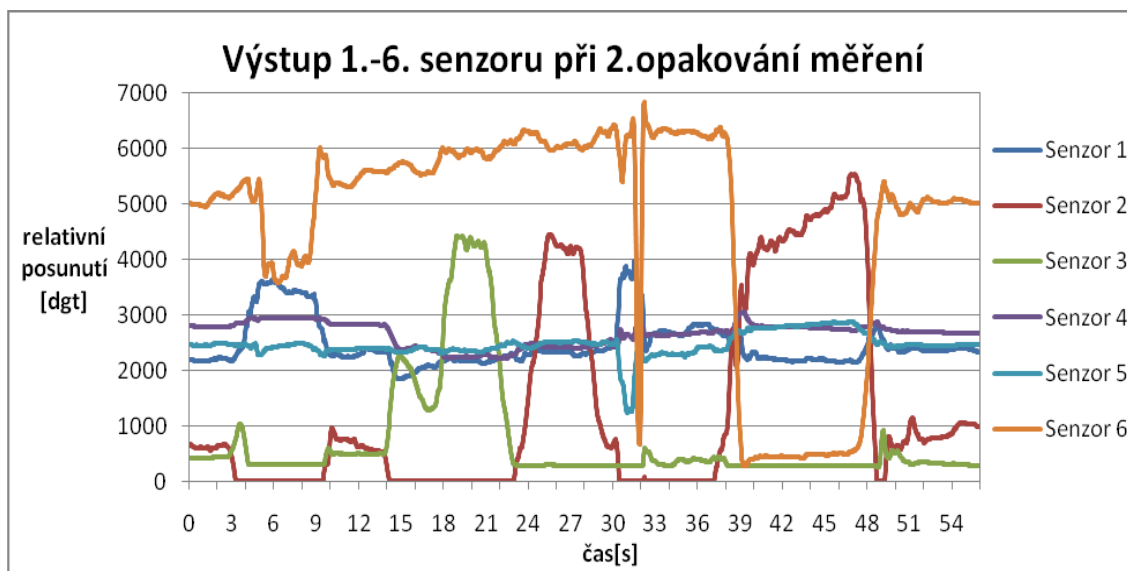
Na Graf 1 je graficky znázorněn záznam křivek výstupních dat o pohybové aktivitě řidiče z prvního až šestého páskového tlakového NiTi senzoru při druhém opakování experimentu. Ve třetí sekundě záznamu začíná řidič startovat. Křivka šestého zádového senzoru klesá spolu s křivkou druhého senzoru pravé ruky a křivkou třetího senzoru levé ruky, zatím co křivka prvního bederního senzoru stoupá v důsledku předklonění jedince kvůli otočení klíčkem od zapalování a zatlačení beder do sedačky. Mírně klesá a následně postupně stoupá i křivka pátého senzoru levé nohy, což poukazuje na mírné sešlápnutí spojky při startování.

Dalšími významnými změnami křivek jednotlivých senzorů v tomto grafu je výrazné zvýšení a následné snížení křivek druhého senzoru pravé ruky a třetího senzoru levé ruky v úseku od patnácté do třicáté sekundy experimentálního měření. Nejdříve dochází k prudkému stoupání křivky třetího senzoru levé ruky a současně, ale mnohem mírnějšímu poklesu druhé křivky pravé ruky, což dokonale znázorňuje otáčení volantu doleva. Ihned po poklesu této křivky následuje prudké stoupání křivky druhého

senzor pravé ruky, které je velmi podobné předchozímu stoupání křivky levé ruky a které je následováno i podobně prudkým klesáním.

Mezi třicátou a třicátou první sekundou měření, kdy začíná simulované brzdění, je velmi dobře patrné klesání křivky pátého senzoru levé nohy, což je následek snížení tlaku na tento senzor kvůli sešlápnutí brzd, kdy se při tomto pohybu nadzvedává stehno řidiče a nepůsobí proto takovým tlakem na senzor. Také dochází ke stoupání křivky prvního senzoru bederní oblasti a k výraznému a velmi prudkému klesání křivky šestého zádového senzoru a poté i k prudkému stoupání této křivky. Tento systém změn křivek při brzdění odráží pohyby řidiče, kdy při brzdění nejdříve sešlápně pedál brzd a poté při cuknutí auta dojde k náhlému předklonění, ale díky bezpečnostnímu pásu se velmi rychle řidič vrací do vzpřímeného sedu a působí výrazným tlakem trupu na zádovou část sedačky.

Kolem třicáté sedmé sekundy začíná finální část měření, kterou je couvání. Při couvání řidič často natočí trup doprava a dokonce se i zapře pravou rukou do sedačky spolujezdce. Tento pohyb vykresluje především křivka druhého senzoru pravé ruky, která výrazně pilovitě stoupá, a také křivka šestého zádového senzoru, která výrazně a velmi příkře klesá. Při návratu řidiče do normální polohy se křivky opět navrací na jejich průměrné hodnoty.

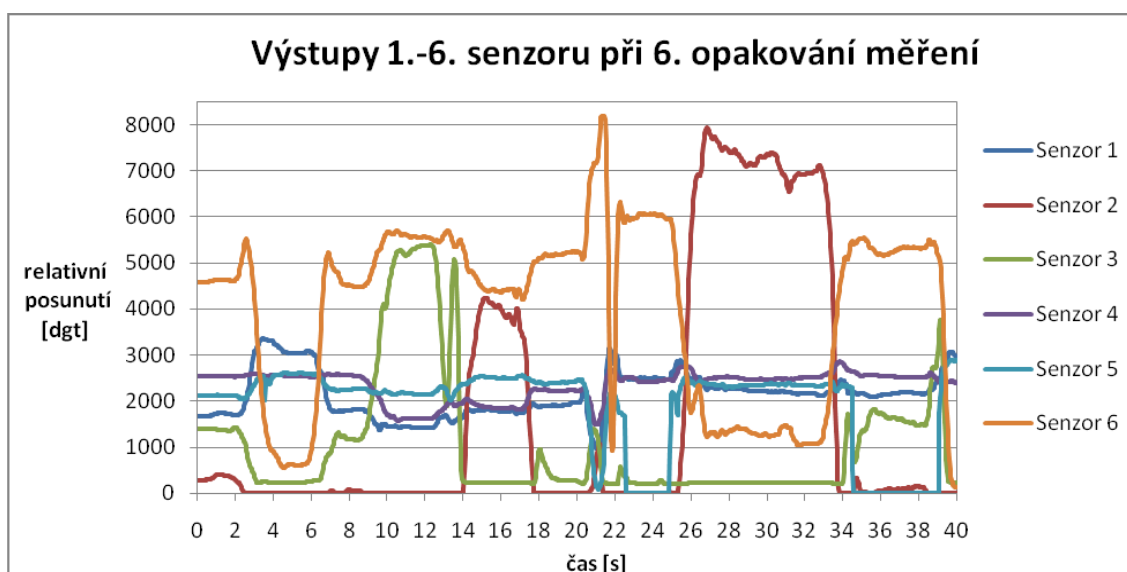


Graf 1: Pohybová aktivita řidiče při druhém opakování experimentu [27]

Na Graf 2 můžeme vidět záznam pohybové aktivity řidiče pomocí křivek výstupních dat z prvního až šestého tlakového NiTi senzoru při šestém opakování

experimentu. Analýza tohoto grafu a jeho jednotlivých křivek je velmi podobná předchozí analýze předchozího Graf 1. U obou grafů se však vzájemně především změni časový rozpis jednotlivých řidičových úkonů a na jednotlivých křivkách prvního až šestého senzoru je patrná často značně rozdílná míra intenzity pohybů a tlak, který byl vynaložen na senzory při jednotlivých úkonech. Ve srovnání s Graf 1 je na Graf 2 nejvýraznějšími změnami mnohem prudší a výraznější klesání křivky šestého zádového senzoru při simulovaném startování automobilu řidičem a také mnohem výraznější a příkřejší stoupání křivky druhého senzoru pravé ruky při simulovaném couvání. Menším rozdílem v jednotlivých grafech je mnohem větší nestálost a mírné klesání a následovné stoupání křivky šestého zádového senzoru při vyjíždění a otáčení volantu doprava a doleva. I samotné křivky druhého a třetího senzoru pravé a levé ruky jsou pozměněny. Křivka senzoru levé ruky při pohybu otáčení volantu řidičem je postřehnutelně vyšší a výraznější než křivka druhého senzoru pravé ruky.

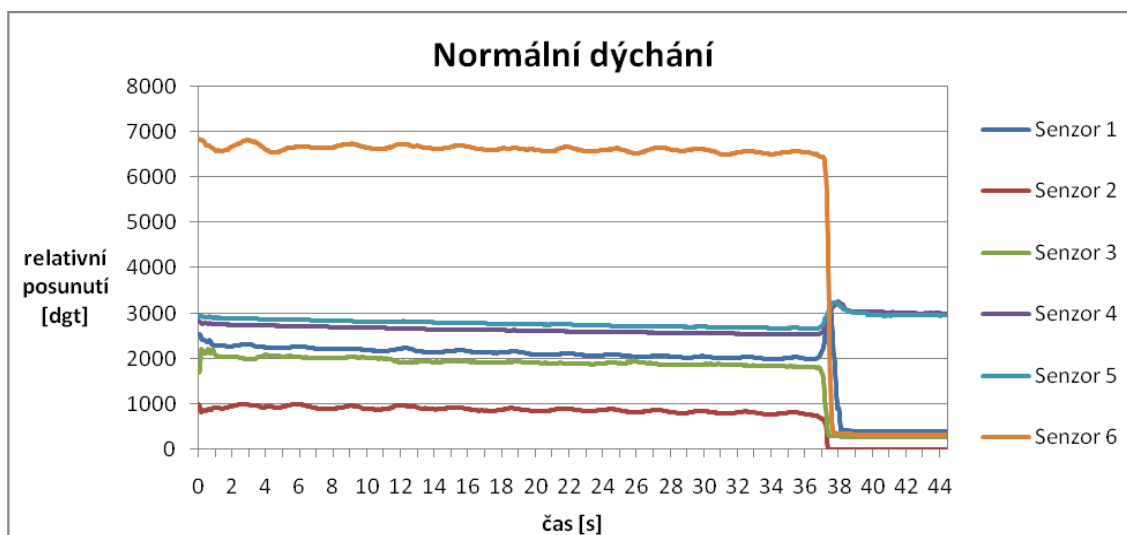
Ačkoli oba grafy znázorňují totožnou pohybovou aktivitu řidiče, která je blíže definována experimentálním souborem pohybových úkonů řidiče při jízdě vytvořeným pro toto měření, a jsou si charakterem svých křivek značně podobné, přesto se velice liší hodnotami křivek jednotlivých senzorů i délkou pohybových úkonů. Nicméně je možné, aby jednotlivé pohyby, ač jsou různého trvání či intenzity, bylo možné na grafu rozpoznat a analyzovat je. Poté by bylo možné z křivek jednotlivých senzorů zpětně zrekonstruovat reálnou pohybovou aktivitu řidiče a případně porovnat reálnou pohybovou aktivitu se zrekonstruovanou pohybovou aktivitou.



Graf 2: Pohybová aktivita řidiče při šestém opakování experimentu [27]

4.2.2 Měření dechové aktivity řidiče při základním umístění senzorů

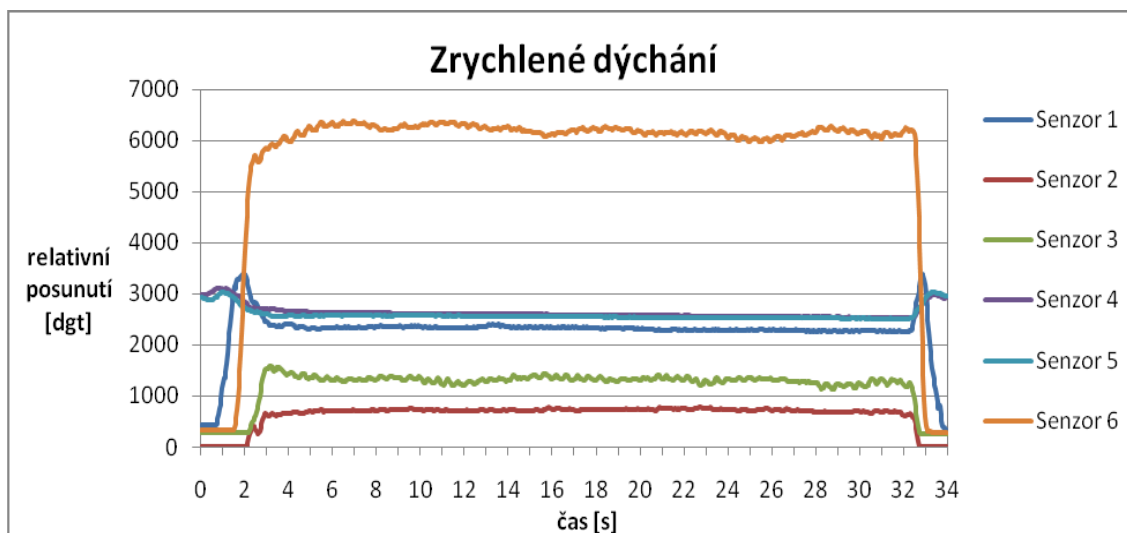
Pro měření dechové aktivity řidiče jsem vytvořila další systém, který obsahuje pět odlišných typů dýchání, které se vyskytují nebo se mohou vyskytovat u řidiče při různých stavech, zejména při stavech se zhoršenou fyzickou kondicí řidiče, viz kapitolu 2. Pomocí tohoto experimentálního systému jsem mohla sledovat citlivost senzorů na různé typy dechové aktivity a také jsem mohla zjistit, které senzory nejlépe zobrazují a vystihují reálnou dechovou aktivitu řidiče, a který naopak téměř není schopen jakoukoli dechovou aktivitu zachytit. Po skončení měření jsem analyzovala výstupní data, v programu Microsoft Excel jsem je upravila do podoby grafů, porovnávala jsem se vzájemně mezi sebou a snažila se zjistit, zda jsou výstupní data srovnatelná s reálnou dechovou aktivitou a jestli je možné z výstupních dat zpětně vyčíst reálnou dechovou aktivitu. Během celého tohoto experimentálního měření se výstupní data ukládala v reálném čase ve formě textového souboru a následně jsem je odděleně zpracovávala v programu Microsoft Excel. Během prvních pár měření bylo použito rozmístění senzorů na sedačce, které bylo popsáno v kapitole 4.1.



Graf 3: Výstup senzorů při normálním dýchání [28]

Na Graf 3 je zobrazen výstup prvního až šestého senzoru při normálním klidném dýchání řidiče. Reálnou dechovou aktivitu řidiče je dobře schopný snímat šestý zádový senzor, první bederní senzor a druhý senzor pravé ruky s třetím senzorem levé ruky, zatím co čtvrtý senzor pravé nohy a pátý senzor levé nohy nevykazuje dostatečnou

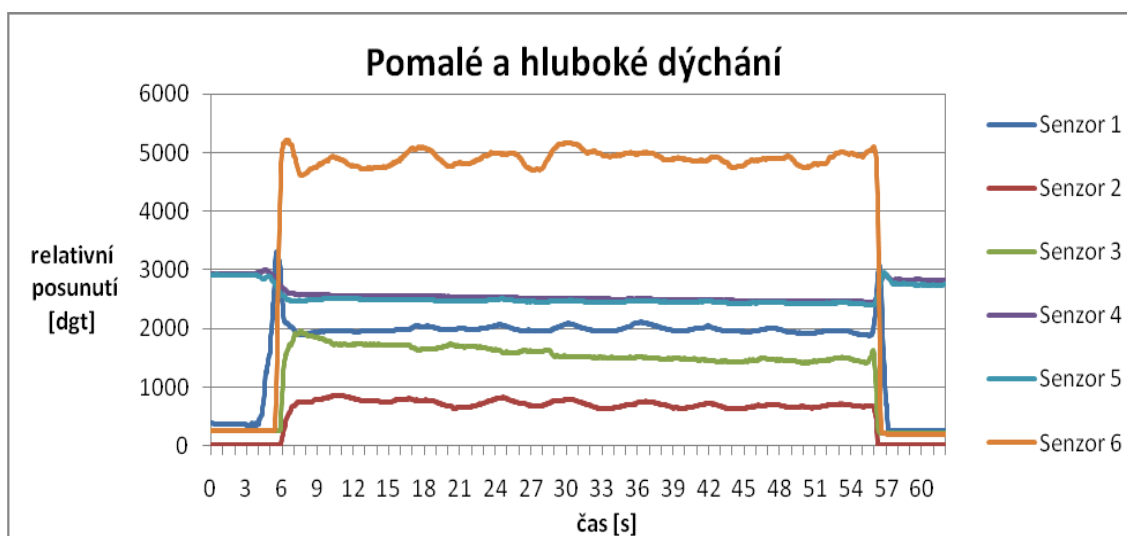
reaktivitu na dechovou aktivitu řidiče. Z grafu můžeme vyčíst, že jednotlivé nádechy a výdechy řidiče jsou velmi dobře čitelné na výše zmíněných křivkách jednotlivých senzorů a že normální dech řidiče nejlépe snímá právě šestý zádový senzor. Křivka normálního dechu u tohoto senzoru ukazuje mízně zvlněný neperiodický charakter a rozsah mezi hodnotou největšího nádechu a hodnotou největšího výdechu na křivce je u šestého zádového senzoru zhruba 317 dgt.



Graf 4: Výstup senzorů při zrychleném dýchání [28]

Na Graf 4 jsou zobrazeny křivky výstupních dat ze senzorů při rychlém mělkém dýchání. Nejlépe a nejvýrazněji snímá zrychlenou dechovou aktivitu řidiče zejména šestý zádový senzor a třetí senzor levé ruky, přičemž jejich křivky na první pohled nejlépe popisují danou dechovou aktivitu a je možné ji právě z těchto dvou křivek výše zmíněných senzorů nejsnadněji a nejlépe zpětně zrekonstruovat. Méně významně snímají a zaznamenají zrychlenou dechovou aktivitu druhý senzor pravé ruky a první bederní senzor. Nejméně je schopen snímat řidičovu dechovou aktivitu čtvrtý senzor pravé nohy spolu s pátým senzorem levé nohy, jejichž křivky mají téměř totožné výstupy i hodnoty. Z tohoto grafu můžeme zjistit, že většina výše zmíněných senzorů je schopna snímat zrychlenou dechovou aktivitu řidiče a že pouze čtvrtý a pátý senzor není vhodný k tomuto snímání řidičovy dechové aktivity. Křivka zrychleného řidičova dýchání je charakteristická svou pilovitou charakteristikou neperiodického rázu a menšími amplitudami v porovnání s amplitudami dechů u normálního dýchání. Rozsah mezi hodnotou největšího nádechu a hodnotou největšího výdechu na křivce šestého zádového senzoru je zhruba 389 dgt.

Na Graf 5 jsou zobrazeny křivky výstupních dat prvního až šestého senzoru při pomalém hlukovém dýchání řidiče. Nejlépe a nejvýrazněji je zde snímáno řidičovo pomalé a hluboké dýchání především šestým zádovým senzorem, který nejrealističtěji snímá opravdovou dechovou aktivitu. Dechovou aktivitu řidiče při tomto experimentálním měření také dobře snímá první bederní senzor a druhý senzor pravé ruky. Oba senzory dolních končetin nejsou téměř schopné snímat tuto dechovou aktivitu, proto opět nejsou vhodné k zpětné rekonstrukci reálné dechové aktivity řidiče, a také třetí senzor levé ruky je schopen snímat tuto dechovou aktivitu mnohem hůře než u předchozího experimentálního měření, což ovšem mohlo být způsobeno výraznějším posazením řidiče více na pravou stranu. Křivka pomalého a hlubokého dýchání řidiče je charakterizována výrazným zvlněním a výrazně většími amplitudami než u zrychleného dýchání a většími amplitudami vlnění než u normálního dýchání řidiče. Rozsah mezi hodnotou největšího nádechu a hodnotou největšího výdechu na křivce šestého zádového senzoru je zhruba 578 dgt.

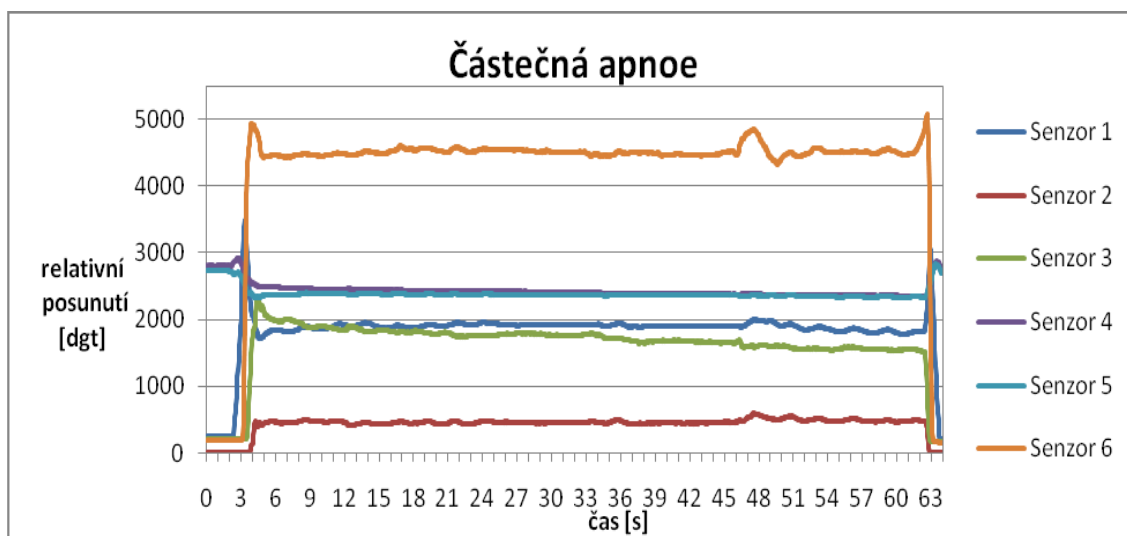


Graf 5: Výstup senzorů při pomalém těžkém dýchání [28]

Na Graf 6 jsou vykresleny křivky prvního až šestého senzoru při částečných přerušovaných zástavách dechu řidiče. Nejlépe vystihuje tuto experimentální částečnou dechovou zástavu následovanou pár dechy šestý zádový senzor, první bederní senzor a oba senzory levé i pravé ruky. Křivka šestého zádového senzoru však ze všech výše zmíněných nejlépe vystihuje hluboký nádech v 48. sekundě. I v tomto případě pátý senzor levé nohy a čtvrtý senzor pravé ruky nejsou téměř schopny oproti ostatním senzorům snímat tuto dechovou aktivitu řidiče a jejich křivka se příliš nemění spolu

s ostatními dle reálného dechu. Také třetí senzor levé ruky je schopen snímat tuto dechovou aktivitu poněkud hůře než senzor pravé ruky. Při popisu křivky šestého zádového senzoru u částečné apnoe řidiče si můžeme všimnout na začátku křivky mírného zvlnění, které se však kolem 24. sekundy téměř ustálí.

Mezi 34. a 35. sekundou křivky je možné si povšimnout mírně pilovité charakteristiky při rychlém nádechu a výdechu, poté opět následuje zadržení dechu, které je kolem 48. sekundy přerušeno velmi významným a prudkým výdechem a nádechem řidiče. Ke konci má křivka šestého zádového senzoru opět mírně vlnitý charakter. Téměř rovné úseky křivky při zadržení dechu jsou však mnohem lépe patrné na křivce druhého senzoru pravé ruky. Rozsah mezi hodnotou největšího nádechu a hodnotou největšího výdechu na křivce šestého zádového senzoru je zhruba 429 dgt, avšak v úseku křivky při apnoe je rozsah mezi největší hodnotou křivky a nejnižší hodnotou křivky šestého zádového senzoru poprvé zhruba 54 dgt a podruhé zhruba 57 dgt. Tyto výchyly jsou zanedbatelné ve srovnání s viditelnými výchyly křivky, a proto se při pohledu na graf mohou tyto části jevit jako téměř lineární.

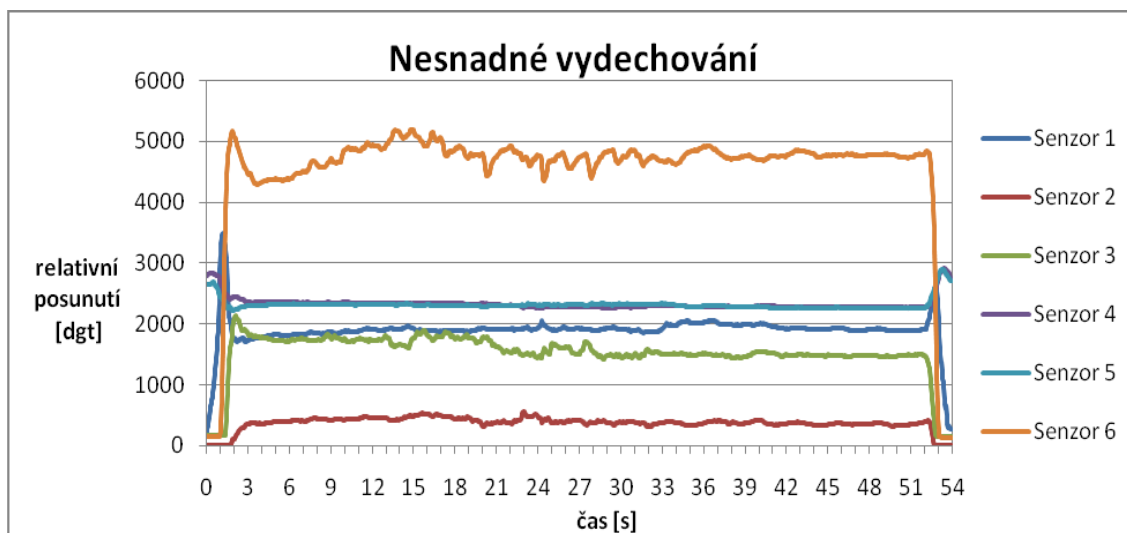


Graf 6: Výstup senzorů při částečné apnoe [28]

Na Graf 7 jsou zobrazeny křivky dat, které byly snímány prvním až šestým senzorem při experimentální zrychlené dechové aktivitě. Tato experimentální dechová aktivita je určena jako zrychlené dýchání, při kterém je nesnadný a omezený výdech z různých důvodů. Nejlépe tuto dechovou aktivitu popisuje křivka šestého zádového senzoru spolu s třetím senzorem levé ruky. Méně kvalitní a významné popisy reálného dechu získáme z prvního bederního senzoru a z druhého senzoru pravé ruky. Čtvrtý

senzor pravé nohy i pátý senzor levé nohy se opět prokazují jako nejméně vhodné snímat tento dechový experiment a křivky jejich výstupních dat oproti ostatním téměř nevykazují viditelnou reaktivitu. Při popisu křivky šestého zádového senzoru u dýchání se zrychlenými nádechy a nedostatečnými výdechy je vhodné nejdříve poukázat na vzrůstající pilovitý charakter křivky, což popisuje výrazné rychlé nádechy s minimálními výdechy.

Dále si můžeme povšimnout mírného poklesu křivky zhruba v patnácté sekundě měření, po kterém následuje výraznější pilovitý charakter s výraznými kmity křivky směrem k nižším hodnotám, což popisuje výrazné výdechy řidiče po sekvenci několika rychle po sobě jdoucích nádechů s mělkými výdechy. Kolem 34. sekundy se opět mění charakter křivky na méně pilovitý. Zvyšují se a rozšiřují se jednotlivé vlny nádechů, ale téměř zde chybí výraznější výdechové kmity křivky. Charakter křivky se ve 45. sekundě měření více uhlazuje, což může znamenat buď navrácení dýchání do normy, nebo začátek apnoe. Rozsah mezi hodnotou největšího nádechu, který je však spíše výsledkem několika po sobě jdoucích rychlých nádechů, a hodnotou největšího výdechu na křivce šestého zádového senzoru je zhruba 797 dgt, ale ke konci křivky, kdy se dýchání uklidňuje, je tento rozsah zhruba 55 dgt, což více poukazuje na zástavu dechu, než na normální klidné dýchání.

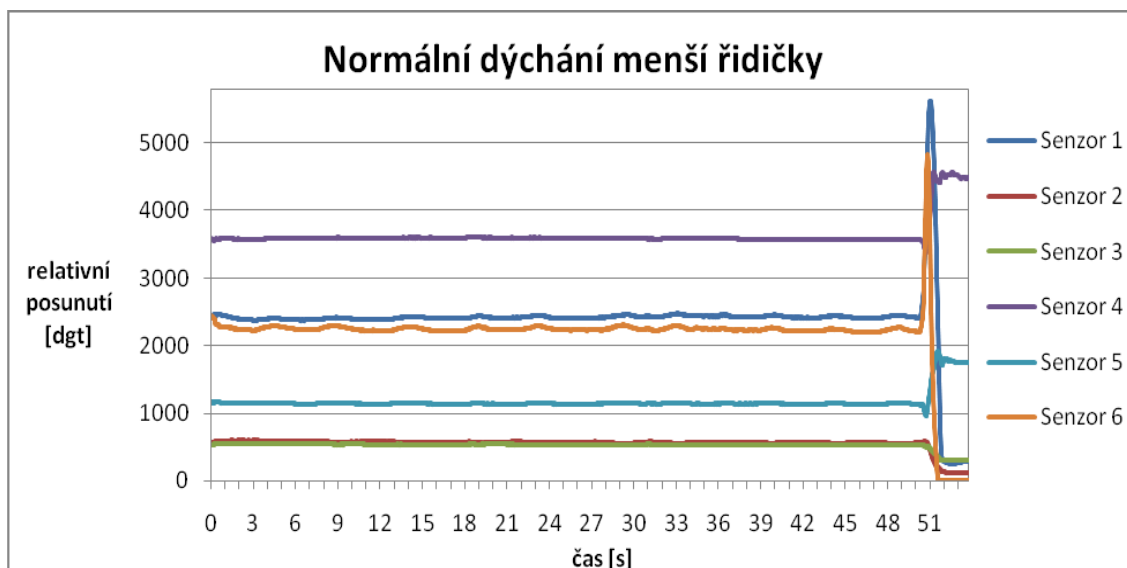


Graf 7: Výstup senzorů při nesnadném vydechování [28]

4.2.3 Měření dechové aktivity řidičů po změně umístění senzorů

Na přelomu ledna a února se však rozmístění senzorů změnilo z důvodu umístění a zašití senzorů do potahu sedačky. Toto nové umístění senzorů do potahu bylo provedeno z důvodu praktičnosti, lepší manipulace se senzory a ošetření umístění drátů jednotlivých senzorů z důvodu ochrany senzorů i pohodlí jedince. Díky umístění senzorů do potahu je manipulace se senzory snazší, je zde menší riziko porušení drátového vedení jednotlivých senzorů, mnohem jednodušeji je možné senzory přemísťovat a je zde i nižší riziko poškození senzorů. Výsledkem tohoto řešení umístění senzorů se však částečně změnily i výstupní data jednotlivých senzorů především u menších řidičů, např. křivka prvního bederního senzoru se více posunula směrem k šesté křivce zádového senzoru, a dokonce se často vzájemně zakrývají. Tento stav je patrně následek umístění senzorů v potahu blíže k sobě směrem ke středu zad řidiče. Také výstupní data z druhého senzoru pravé ruky a třetího senzoru levé ruky jsou si navzájem mnohem více podobné a jejich křivky jsou velmi blízko u sebe a často se navzájem zakrývají.

Kvůli změně vzájemné polohy senzorů, zejména kvůli vzájemnému přiblížení prvního a šestého senzoru, bylo nutné zjistit, zda a jak moc se mohou výstupní signály lišit u různě vysokých řidičů v jednotlivých výstupech prvního až šestého senzoru. Proto při první části opakovaného experimentu se snímala dechová aktivita u řidičky o výšce 155 cm a o váze 68 kg a v druhé části experimentu u řidiče o výšce 189 cm a o váze 85 kg s různými hmotnostmi. Dechovou aktivitu menší řidičky můžeme sledovat na Graf 8, Graf 12, Graf 14 a Graf 16, zatím co dechovou aktivitu většího řidiče můžeme vidět na Graf 9, Graf 11, Graf 13, Graf 15, Graf 17. Následně můžeme vyhodnotit jednotlivé výstupy ze senzorů a jejich křivky a usoudit, zda zde jsou nějaké rozdíly ve výstupních signálech, v čem se nejvíce jednotlivé křivky signálů u menší řidičky a většího řidiče vzájemně liší v závislosti na jejich stavbě, rozložení těla a hmotnosti a jak významné tyto rozdíly jsou. Celkové výsledky měření nejsou závislé pouze na stavbě těla či hmotnosti řidiče, ale i na posazení řidiče, protože může dojít k posunutí neukotveného potahu na sedačce, a tím i ke změně výstupních dat ze senzorů.

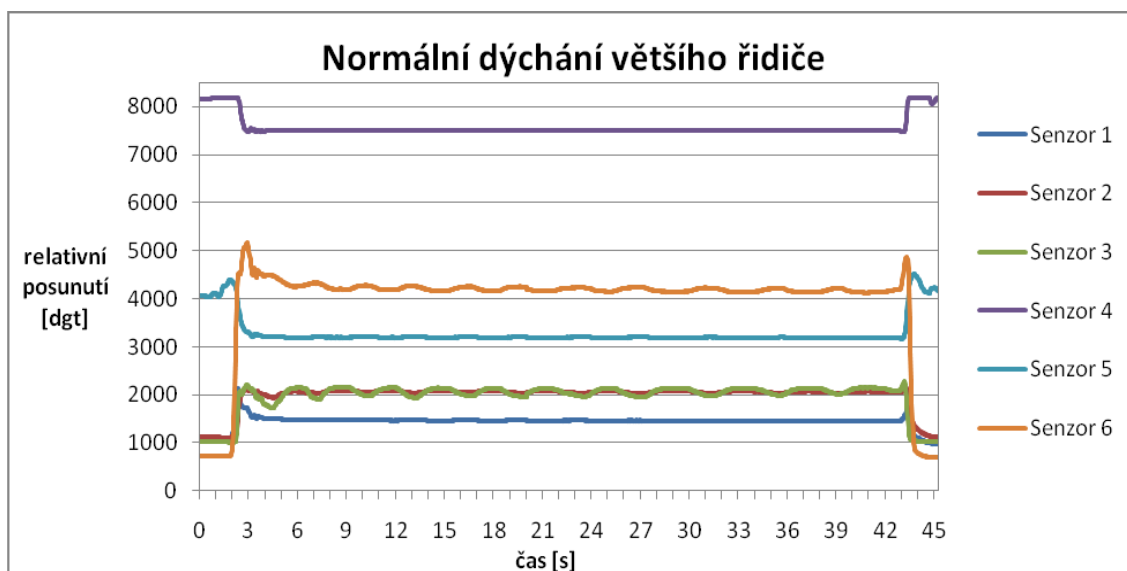


Graf 8: Výstup senzorů u normálního dýchání menšího z řidičů [30][32]

Na Graf 8 je zobrazení křivek prvního až šestého senzoru experimentálního zařízení při normálním klidném dýchání menší řidičky. Oproti prvnímu experimentálnímu měření se změnilы hodnoty relativního posunutí v důsledku změny polohy umístění jednotlivých čidel. Nejlépe zobrazuje aktuální dechovou aktivitu řidičky křivka s mírně vlnitým charakterem prvního bederního senzoru spolu s křivkou stejného charakteru šestého zádového senzoru, přičemž oba mají velmi podobné průběhy i hodnoty. Křivky zbylých senzorů nevykazují výraznou reaktivitu na danou dechovou aktivitu v porovnání s výše zmíněnými křivkami prvního a šestého senzoru. Oproti předchozímu experimentu křivka čtvrtého senzoru pravé nohy má mnohem vyšší hodnoty, ačkoli křivka pátého senzoru levé nohy má podobný charakter, avšak mnohem nižší hodnoty. Tento stav může být částečně výsledkem špatného položení potahu se senzory na sedačku spolu s nevhodným posazením řidiče. Z větší části je však tento rozdíl v hodnotách čtvrtého a pátého senzoru způsoben i rozdílným nastavením výchozích hodnot senzorů bez působení tlaku.

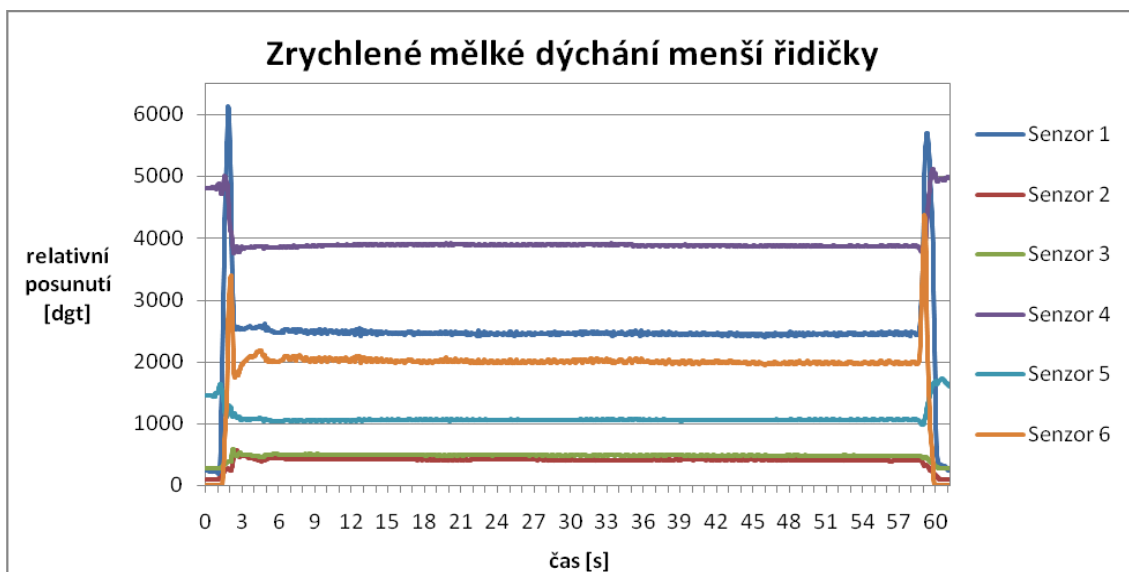
Na Graf 9, který popisuje křivky prvního až šestého senzoru při normálním dýchání většího řidiče, se změnilы vzájemné pozice a hodnoty jednotlivých křivek senzorů, avšak vlnitý charakter je pro oba grafy stejný. Hlavními rozdíly je špatná reaktivita prvního bederního senzoru, což je způsobeno postavením těla u vyššího řidiče, výrazné zlepšení reaktivity třetího senzoru levé ruky na reálnou dechovou aktivitu a také výrazné zvýšení hodnot čtvrtého a pátého senzoru dolních končetin, což je způsobeno vyšším tlakem na tyto senzory vlivem větší hmotnosti vyššího řidiče. Také

samotný dech většího řidiče má větší rozsah hodnot, především díky většímu objemu plic a tím pádem i větším rozsahem tlaků na senzory, i delší trvání jednotlivých nádechů. Rozsah mezi hodnotou největšího nádechu a hodnotou největšího výdechu na křivce šestého zádového senzoru při normálním dýchání je u menší řidičky zhruba 89 dgt a u většího řidiče zhruba 140 dgt.

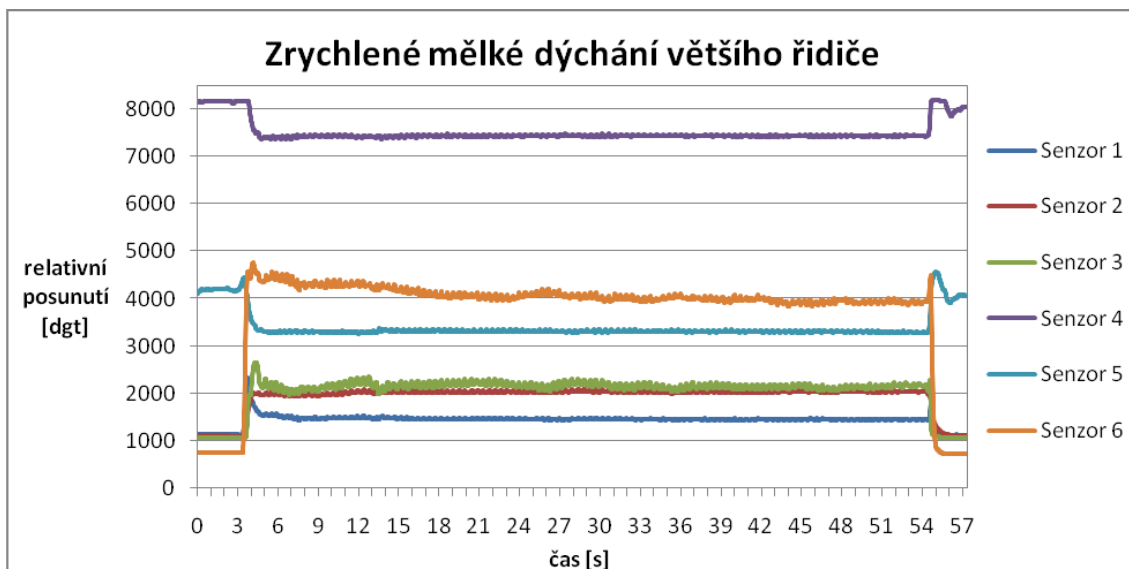


Graf 9: Výstup senzorů u normálního dýchání většího z řidičů [31][32]

Na Graf 10 jsou zobrazeny křivky výstupních dat prvního až šestého tlakového senzoru při zrychleném dýchání menší řidičky. Křivky tohoto grafu mají pilovitý charakter a jejich amplitudy jsou značně menší než amplitudy křivek normálního dýchání. Všechny senzory jsou schopny snímat tuto dechovou aktivitu, avšak nejlépe a nejvýrazněji ji vykresluje zejména první bederní senzor a šestý zádový senzor. Na Graf 11 jsou zobrazeny křivky prvního až šestého senzoru při zrychleném dýchání většího řidiče. Opět je zde výrazné zvýšení hodnot křivek čtvrtého a pátého senzoru dolních končetin, jak tomu bylo i v předchozím měření. Tady však nejlépe popisuje reálnou dechovou aktivitu šestý zádový senzor, a i když v tomto případě vykazují všechny senzory reaktivitu na tuto dechovou aktivitu, tak první bederní senzor je z nich nejméně schopen ji kvalitně popsat. Rozsah mezi hodnotou největšího nádechu a hodnotou největšího výdechu je na křivce šestého zádového senzoru při zrychleném dýchání u menší řidičky zhruba 160 dgt a u většího řidiče zhruba 223 dgt.



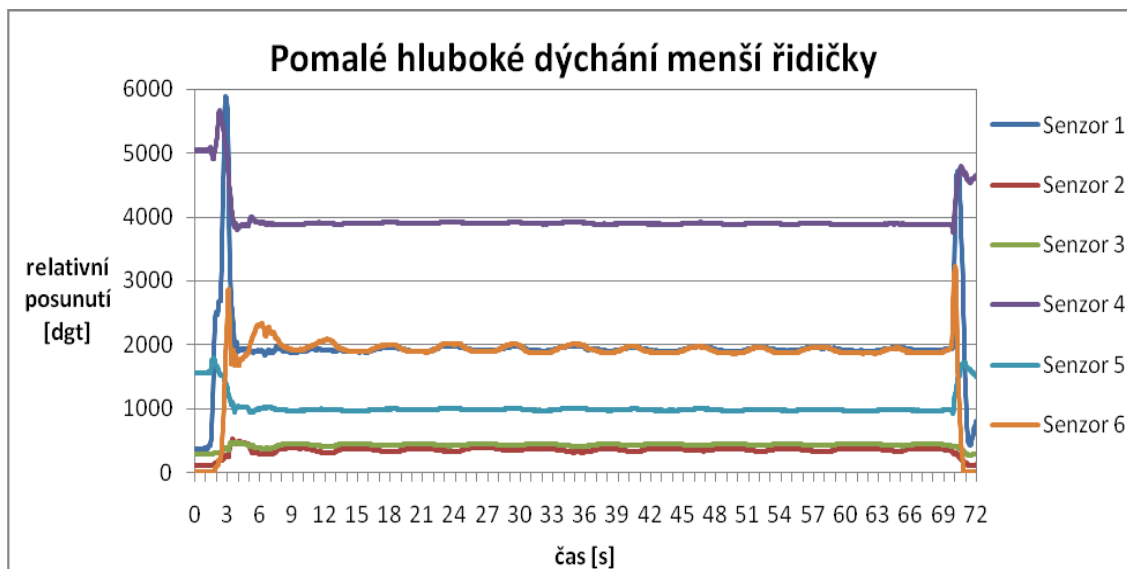
Graf 10: Výstup senzorů u zrychleného dýchání menšího z řidičů [30][32]



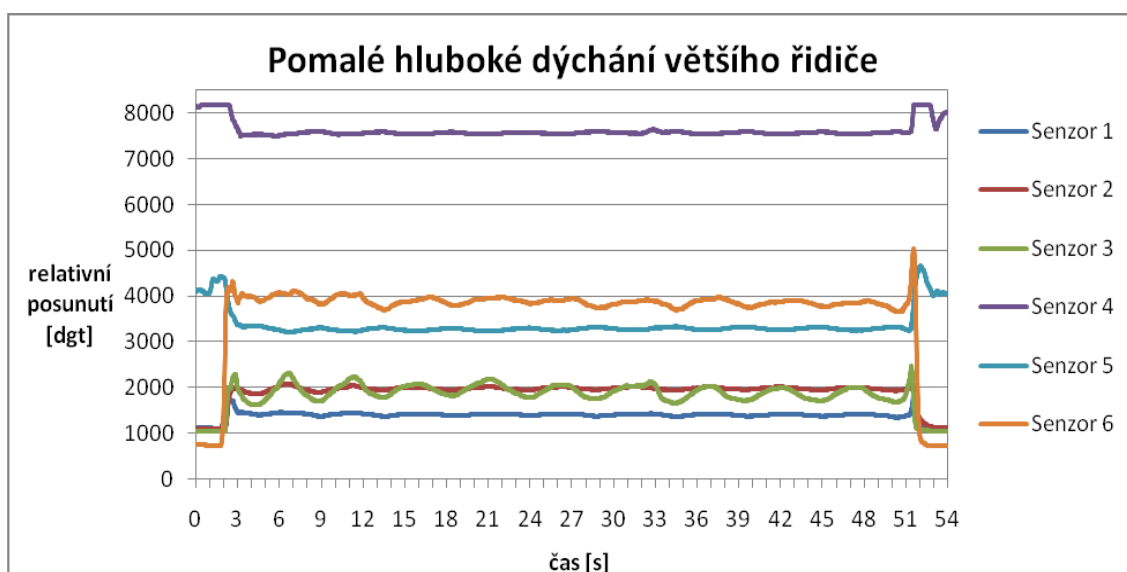
Graf 11: Výstup senzorů u zrychleného dýchání většího z řidičů [31][32]

Na Graf 12 jsou vyobrazeny výstupy prvního až šestého tlakového senzoru, které jsou zpracovány do podob křivek tohoto grafu, při pomalém hlubokém dýchání u menší řidičky. Její dech opět nejlépe popisuje šestý zádový a první bederní senzor, které mají téměř totožné hodnoty a dokonce se z velké části překrývají, a kvalitně ho popisuje i druhý senzor pravé ruky a třetí senzor levé ruky, přičemž všechny zbylé senzory popisují pomalé hluboké dýchání méně kvalitně a v porovnání s hodnotami výše zmíněných senzorů na první pohled méně výrazné, ale mohou pro základní popis dechu stačit při dostatečném upravení grafu na zobrazení pouze těchto křivek. Na Graf

13 jsou vyobrazeny také křivky prvního až šestého tlakového senzoru při pomalém hlubokém dýchání, avšak tentokrát u většího řidiče, který působí opět větším tlakem na senzory dolních končetin, než jakým tlakem na ně působí řidička díky své váze.



Graf 12: Výstup senzorů u pomalého hlubokého dýchání menšího z řidičů [30][32]

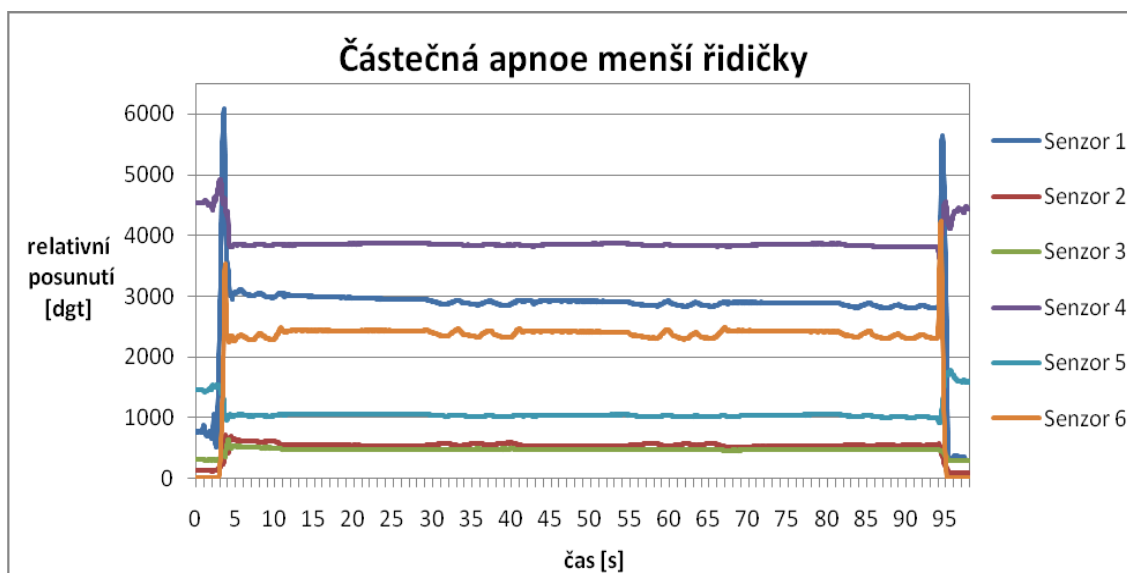


Graf 13: Výstup senzorů u pomalého hlubokého dýchání většího z řidičů [31][32]

Nejlépe popisuje hluboké dýchání křivka šestého zádového senzoru spolu s křivkou druhého a třetího senzoru horních končetin. Křivka bederního senzoru opět ukazuje na špatnou schopnost senzoru získat dostatečně silná data o tlaku těla většího řidiče na výše zmíněný senzor, což je opět způsobeno nedostatečným kontaktem těla

a senzoru. Oba grafy vykazují výrazně vlnitý charakter křivek, které velmi kvalitně popisují danou dechovou aktivitu řidiče, ačkoli se od sebe liší v délce, číselných hodnotách dechu a v intenzitě nádechu a výdechu jednotlivých řidičů. Rozsah mezi hodnotou největšího nádechu a hodnotou největšího výdechu je na křivce šestého zádového senzoru při pomalém hlubokém dýchání menší řidičky zhruba 193 dgt a u většího řidiče zhruba 325 dgt.

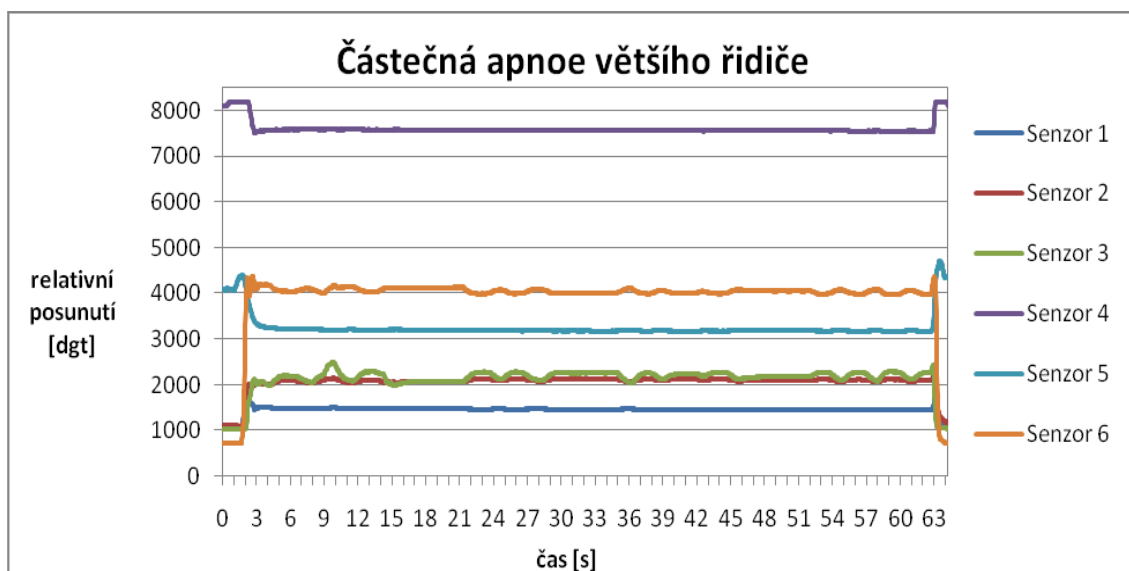
Na Graf 14 jsou zobrazeny křivky prvního až šestého senzoru při simulaci krátkodobé apnoe u menší řidičky. Nejlépe a nejvýrazněji popisují tuto simulaci křivka prvního bederního senzoru a šestého zádového senzoru, jejichž průběh se střídá z mírně vlnitého na téměř lineární vodorovný. Druhý senzor pravé ruky a třetí senzor levé ruky snímá tento experiment méně efektivně, avšak jejich křivky by se daly pro základní popis dobře použít, zatím co čtvrtý senzor pravé nohy a pátý senzor levé nohy snímají částečné přerušení dechu jen minimálně. Na Graf 15 jsou také zobrazeny křivky prvního až šestého senzoru při částečné apnoe, ale u většího a těžšího řidiče, což souhlasí s křivkami čtvrtého a pátého senzoru dolních končetin, na které je vyvíjen větší tlak, než u menší řidičky, a také s rozdílnými hodnotami především u prvního bederního senzoru, na který není větším řidičem a jeho zády vyvíjen téměř žádný tlak.



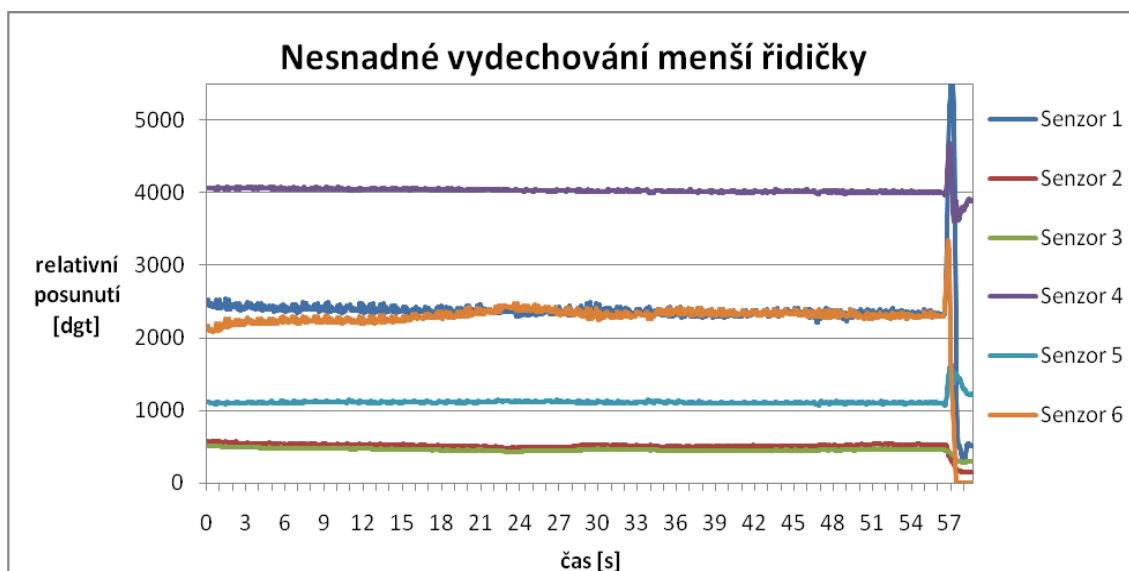
Graf 14: Výstup senzorů u částečné apnoe menšího z řidičů [30][32]

Právě proto mají křivky čtvrtého a pátého senzoru u Graf 15 oproti totožným křivkám u Graf 14 značně větší hodnoty. Na tomto grafu opět nejlépe popisuje dechovou aktivitu řidiče především šestý zádový senzor spolu s druhým a třetím

senzorem horních končetin. Zbylé senzory popisují úseky apnoe a výdechů mnohem méně a nebyly by příliš vhodné k interpretaci této dechové aktivity. Rozsah mezi hodnotou největšího nádechu a hodnotou největšího výdechu křivky šestého zádového senzoru u simulace částečné apnoe je v úseku apnoe u menší řidičky zhruba 26 dgt a u většího řidiče zhruba 27 dgt.



Graf 15: Výstup senzorů u částečné apnoe většího z řidičů [31][32]

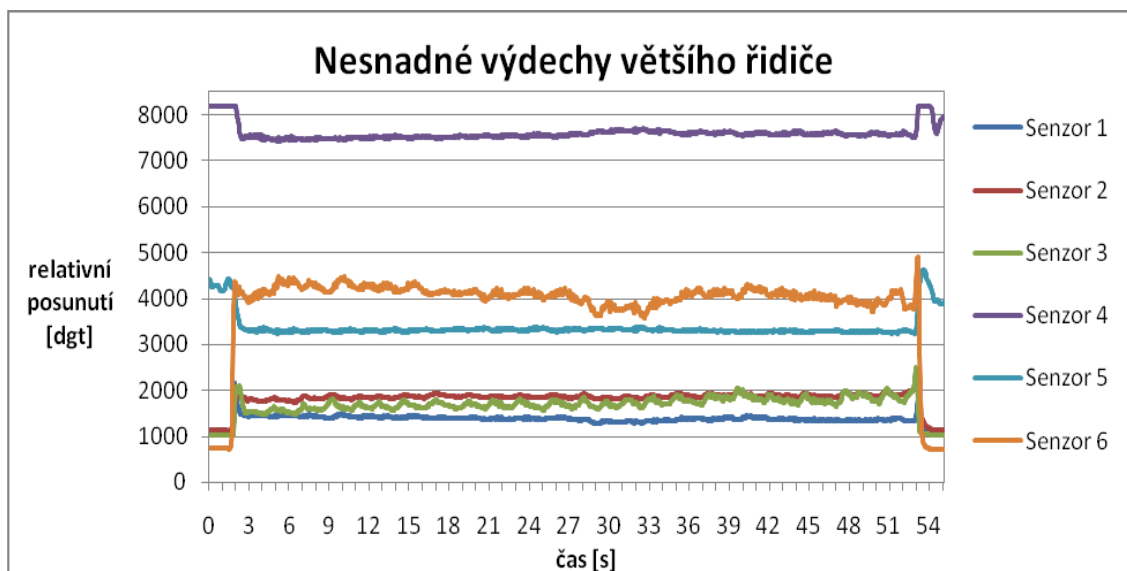


Graf 16: Výstup senzorů u nesnadného vydechování menšího z řidičů [30][32]

Na Graf 16 jednotlivé křivky popisují výstupy prvního až šestého senzoru při simulaci nesnadného vydechování a rychlých za sebou jdoucích nádechů u menší

řidičky. Všechny senzory mají poměrně dobrou reaktivitu na tento typ dechové aktivity, avšak nejlépe ji popisují křivky prvního bederního a šestého zádového senzoru, jejichž hodnoty jsou v části grafu téměř totožné a prolínají se. Na Graf 17 jsou opět zobrazeny křivky prvního až šestého senzoru při simulaci nesnadného vydechování a rychlých za sebou jdoucích nádechů, ale u většího řidiče. Opět je zde vyvíjen mnohem větší tlak na čtvrtý a pátý senzor dolních končetin z důvodu většího působení hmotnosti na senzory, což se odráží v jejich výstupních hodnotách i křivkách hodnot těchto senzorů.

Nejlépe tuto dechovou simulaci popisuje křivka šestého zádového senzoru spolu s křivkou druhého senzoru pravé ruky a třetího senzoru levé ruky. Zbylé senzory tuto dechovou aktivitu také dobře snímají, ale jejich výstupy nejsou tak význačné, i když by pro obecný popis byly při dostatečném upravení zobrazení těchto křivek na grafu vyhovující. Křivky obou grafů mají pilovitý mírně vzestupný charakter, který je prokládán několika úseky výdechů jedince, avšak amplitudy křivek na Graf 17 u většího řidiče jsou větší a výraznější než amplitudy křivek na Graf 16 u menší řidičky. Rozsah mezi hodnotou největšího nádechu a hodnotou největšího výdechu křivky šestého zádového u nesnadného těžkého vydechování je u menší řidičky zhruba 277 dgt a u většího řidiče zhruba 664 dgt.



Graf 17: Výstup senzorů u nesnadného vydechování většího z řidičů [31][32]

Tabulka 1: Přehled hodnot dýchání

	Menší řidička [dgt]	Větší řidič [dgt]
Normální dýchání	89	140
Zrychlené dýchání	160	233
Pomalé hluboké dýchání	193	325
Částečná apnoe	26	27
Těžké nesnadné výdechy	277	664

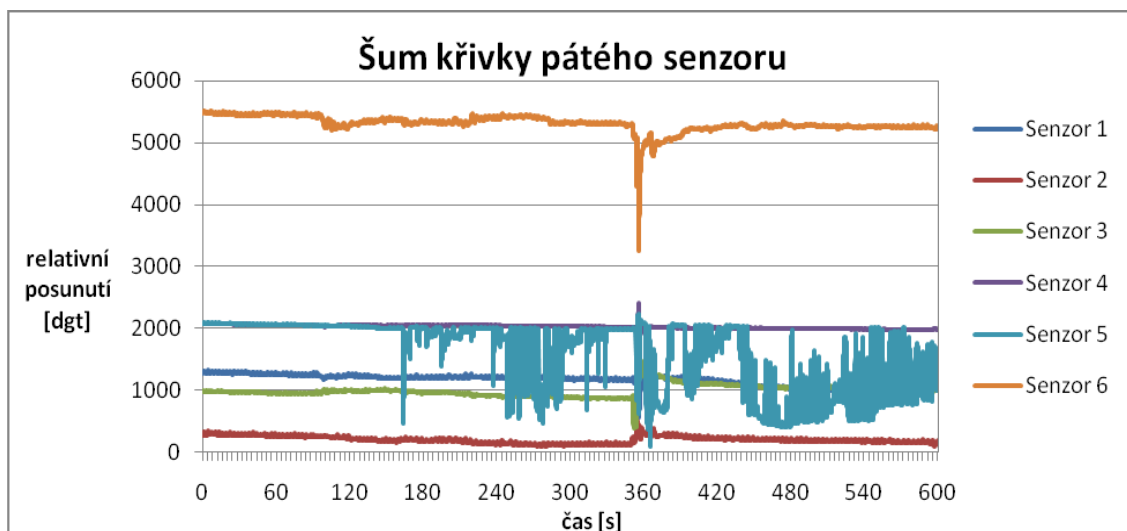
Na Tabulka 1 je zobrazen přehled rozsahů mezi hodnotami největších nádechů a hodnotami největších výdechů v digitech při různých dechových aktivitách nejdříve u menší řidičky a poté u většího řidiče. Je zde možné si povšimnout podobnosti v hodnotách či v poměrech hodnot u menší řidičky a většího řidiče. Díky této tabulce jsou jednotlivé dechové aktivity lépe přehledné a můžeme tak z nich vytvořit plnohodnotnější závěry.

4.2.4 Měření fyzického stavu řidiče při dlouhodobém sezení

Při měření pohybové aktivity řidiče při dlouhodobém sezení na sedačce v klidu a bez dalších nucených pohybů jsem se snažila zachytit povolování svalových struktur, postupné změny v držení těla a postoje řidiče a případnou únavu či mikrosnánky. Toto měření probíhalo od listopadu, kdy byly senzory umístěny na sedačce ještě bez potahu, až do února na budově L Technické univerzity v Liberci v laboratoři CXI. Experiment spočíval v posazení řidiče na sedačku, ve které měl sedět po dobu 45 až 60 minut. Po tuto dobu měl sedět pokud možno klidně, ale pohodlně, proto se mohl posunout či posadit dle svého pohodlí a potřeby i v průběhu měření. Tímto bylo umožněno, aby byly výsledky experimentu co nejblíže podobné snímání reálné pohybové aktivity řidiče, který v průběhu jízdy mění svou polohu v sedu dle libosti a potřeb jedince.

Při prvním experimentálním dlouhodobém měření na sedačce došlo během prvních 12 minut k poškození a uvolnění elektrického kontaktu pátého senzoru levé nohy, čímž došlo k výraznému šumu, který je vidět na Graf 18. Tento šum hodnot výše zmíněného senzoru nejen že neumožňuje správnou interpretaci hodnot křivky pátého senzoru levé nohy, ale dokonce zkresluje celý graf a svou křivkou znemožňuje interpretaci křivek zbylých senzorů, které se nachází na grafu v blízkosti křivky šumu pátého senzoru levé nohy. Pouze křivka šestého zádového senzoru není zastíněna tímto

šumem. Při celkové analýze pohybové aktivity řidiče však potřebujeme vidět i křivky zbylých senzorů, protože pro zpětnou rekonstrukci řidičových pohybů je nutné mít co nejucelenější přehled o výstupních hodnotách jednotlivých senzorů, aby bylo možné daný pohyb dle grafu co nejlépe upřesnit a definovat.

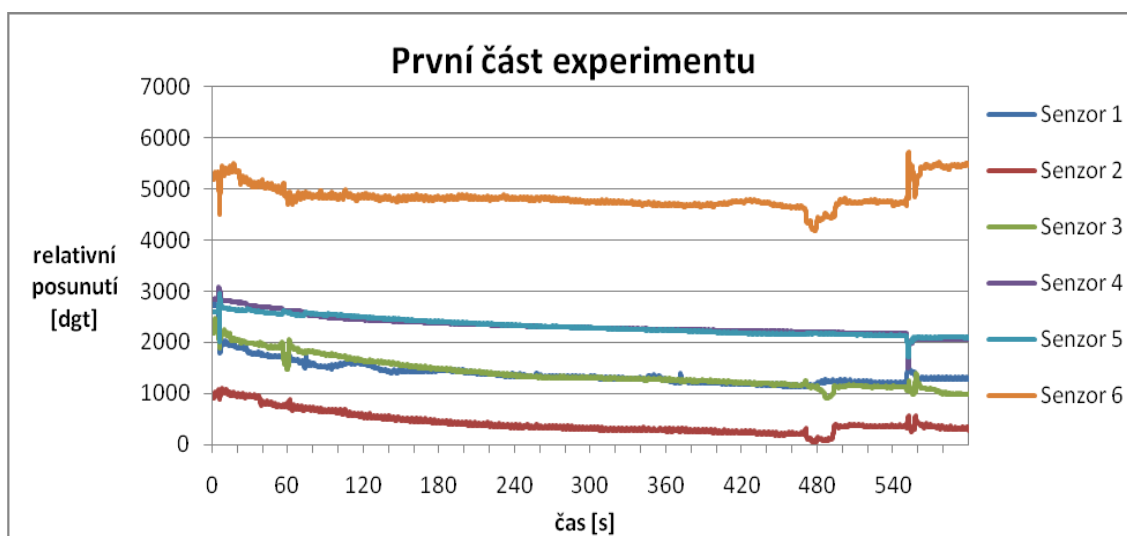


Graf 18: Šum křivky pátého senzoru levé nohy [29]

Na dalších grafech, kromě prvního desetiminutového grafu, z tohoto důvodu odstraním křivku pátého senzoru levé nohy, jejíž hodnoty i tak nejsou relevantní ani vhodné k interpretaci, a tím umožním lepší analýzu i zpětnou interpretaci reálné pohybové aktivity řidiče z výstupních dat prvního až šestého senzoru.

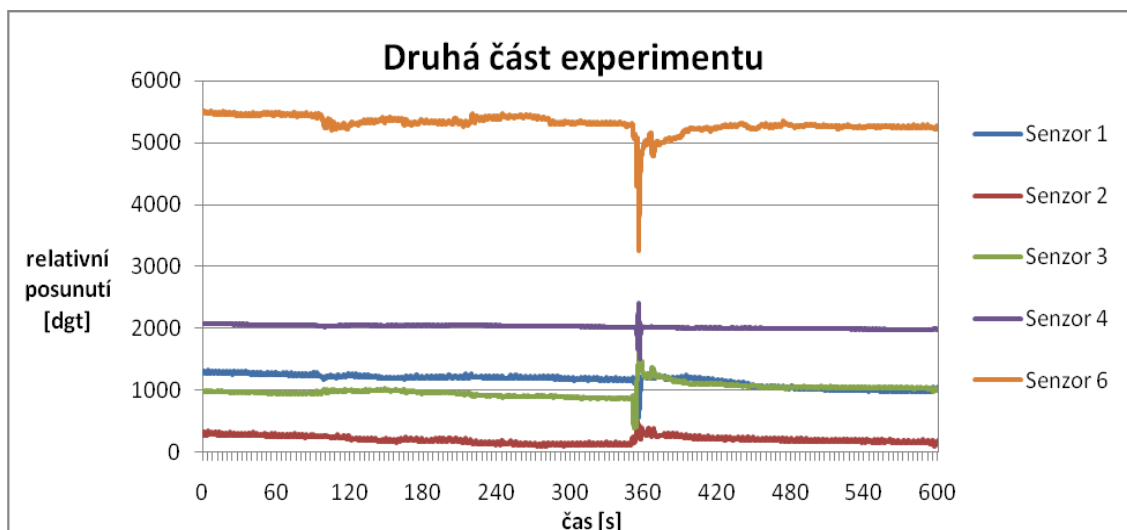
Na Graf 19 jsou zobrazeny křivky výstupních hodnot prvního až šestého tlakového senzoru během prvních 10 minut experimentálního měření. Po prvotním usazení řidiče dochází k pozvolnému klesání křivek všech senzorů, což znázorňuje postupné snižování napětí ve svaích i povolování posturálních svalů a hroucení postoje. Pouze křivka prvního bederního senzoru vykazuje jisté vzestupné úseky, kdy při hroucení postoje a zakulacování zad může docházet k mírnému tlaku na tento senzor, který však není trvalý a proto po pár sekundách nastává další pozvolné klesání této křivky. Ke konci tohoto grafu křivky šestého zádového senzoru spolu s křivkou druhého a třetího senzoru horních končetin vykazují nejdříve mírně pilovitý náhlý propad, který poukazuje na mírné náhlé předklonění v horní části trupu, a poté výrazně pilovitý vzestup, který popisuje řidičovo opření zpět do sedačky a zvýšení tlaku na senzory díky probuzení svalů a zvýšení svalového tonu. V okamžiku prudkého

vzestupu výše zmíněných křivek senzorů také dochází k velmi prudkému snížení a navrácení na původní hodnotu i u křivek



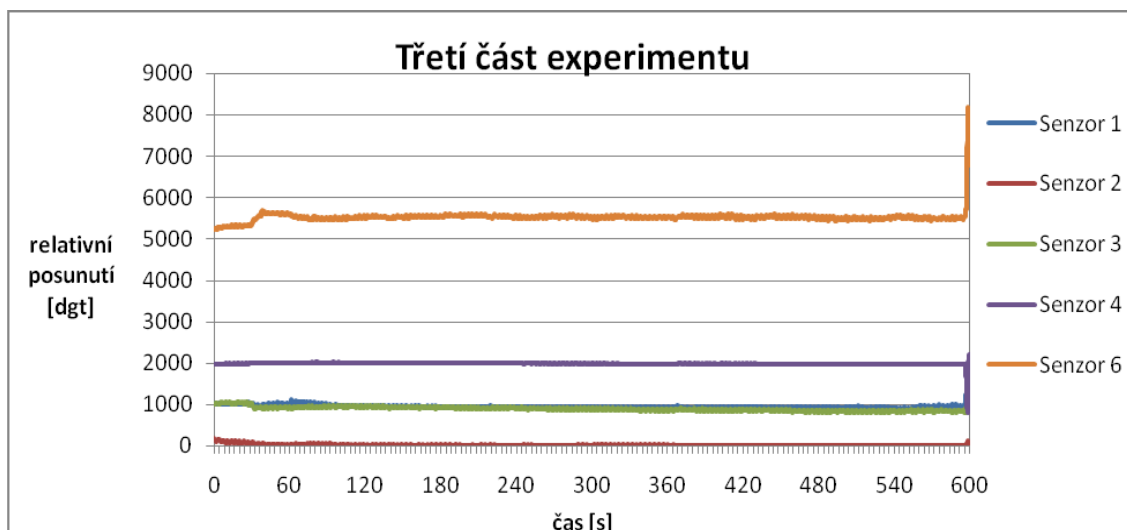
Graf 19: Usazení řidiče, začátek uvolňování jeho těla a následné poposedávání [29]

Na Graf 20 můžeme pozorovat další výstupní hodnoty křivek prvního až šestého senzoru experimentálního zařízení v průběhu následných 10 minut experimentu, kdy dochází k dalšímu mírnému klesání hodnot až do šesté minuty experimentu. V této časové oblasti dochází k výraznému pohybu řidiče. Křivka šestého zádového senzoru prudce a krátce nejdříve klesá a poté stoupá, což ukazuje na krátké předklonění řidiče. Podobný, i když na grafu ne tak výrazný a vizuálně významný průběh křivky prokazuje i křivka druhého senzoru pravé ruky a třetího senzoru levé ruky, čímž se jen potvrzuje řidičovo předklonění a rychlé zpětné opření zpět do sedačky. Křivka čtvrtého senzoru pravé nohy má podobný průběh jako výše zmíněné křivky, avšak zde není možné jako vysvětlení aplikovat stejnou zpětnou realizaci pohybové aktivity řidiče, protože při předklonění řidiče dochází k zvýšení tlaku na senzory dolních končetin a tím i k zvětšení hodnot jejich křivek. Průběh křivky čtvrtého senzoru pravé nohy však vykazuje velmi rychlé nadzvednutí řidiče a usazení zpět do sedačky. Při kombinaci všech výše uvedených zpětných rekonstrukcí pohybů řidiče lze usoudit, že se řidič celý prudce a rychle nadzvedl ze sedačky a poté usadil do polohy, která mu byla pohodlnější. Po tomto výkyvu hodnot, který byl způsoben fyzickou aktivitou řidiče, u všech senzorů dochází opět k velmi klidnému a mírnému poklesu všech hodnot.



Graf 20: Další uvolňování těla a výrazné posazení do jiné polohy [29]

Na Graf 21 jsou vidět křivky prvního až šestého senzoru s výjimkou pátého senzoru levé nohy, který byl v průběhu měření poškozen a způsoboval značné rušení. Během této desetiminutové části experimentálního měření je kromě první minuty měření, kde se objevuje výraznější změna na křivkách senzorů, charakter křivek klidný a velice mírně klesající. Během první minuty je na křivce šestého zádového senzoru patrné zvýšení hodnot, které bylo způsobeno větším tlakem na tento senzor, přičemž hodnoty křivek druhého a třetího senzoru horních končetin mírně klesají, což ukazuje na snížení tlaku na tyto senzory. Grafické výsledky těchto hodnot a jejich interpretace zcela souhlasí a reálnou pohybovou aktivitou řidiče, který usnul, jeho hlava klesala dopředu, čímž se zvýšil tlak na šestý zádový senzor a snížil na druhý senzor pravé ruky a třetí senzor levé ruky. Poté došlo k napřímení hlavy, ale jelikož řidič spal, nezměnil svou polohu těla a ani se neposadil do pohodlnější pozice a křivky všech senzorů jsou tím pádem klidné a velmi dobře zobrazují reálnou dechovou aktivitu řidiče. Rozsah mezi hodnotou největšího nádechu a hodnotou největšího výdechu křivky šestého zádového senzoru v klidné části grafu je při usnutí řidiče zhruba 140 dgt, což poukazuje na mírně hluboké a klidné dýchání.

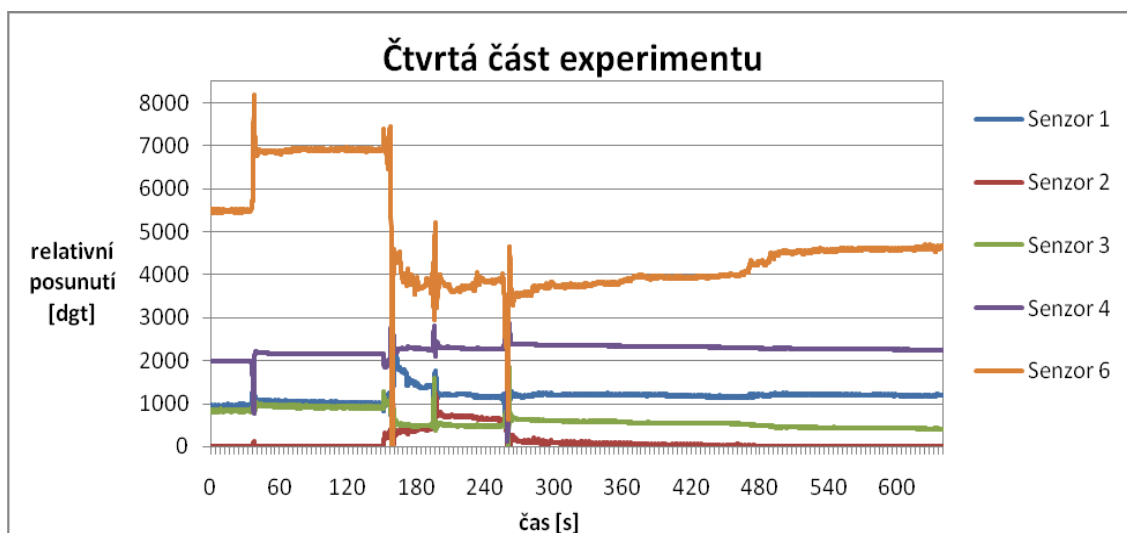


Graf 21: Spánek řidiče a klid těla [29]

Na Graf 22 již však můžeme vidět velké změny v křivkách prvního až šestého senzoru během jedenáctiminutové části měření, kdy byl řidič kolem 30. sekundy měření nečekaně probuzen výrazným zvukovým vjemem. I v této části experimentálního dlouhodobého měření bylo nutné vynechat z analýzy a interpretace křivku pátého senzoru levé nohy z důvodu výrazného a nečitelného šumu, který značně komplikoval interpretaci dalších křivek senzorů. Největší změnu hodnot vykazuje křivka šestého zádového senzoru, která velmi výrazně vzrůstá o více než 2000 dgt. Tento nárůst hodnot byl způsoben výrazným tlakem na šestý zádový senzor, avšak nebyl doprovázen snížením hodnot křivek druhého a třetího senzoru horních končetin. Právě i na tyto senzory byl vyvinut větší tlak a kombinací výsledných dat z těchto tří senzorů vychází najevo, že nedošlo k výraznému předklonění, jak tomu bylo ve většině předchozích podobných případů, ale k výraznému celotělovému opření do sedačky.

Méně výrazná, avšak mnohem více zajímavá a důležitá je změna křivky čtvrtého senzoru pravé nohy, která vykazuje výrazný pokles o zhruba 1000 dgt. Tento výrazný pokles hodnot čtvrtého senzoru pravé nohy byl způsoben výrazným sešlápnutím špičky pravé nohy řidiče a tím i k poklesu tlaku stehna řidiče na výše zmíněný senzor. Pokud by řidič ovládal pravou nohou nějakou funkci přístroje či auta, jako například plynový pedál, mohlo by dojít k náhlému zvýšení rychlosti auta, či k jiným nežádoucím jevům způsobeným náhlým probuzením řidiče. Před třetí minutou této části měření dochází k dalším velmi výrazným poklesům a zvýšení všech senzorů po dobu zhruba jedné minuty. V této oblasti grafu dochází při procitnutí řidiče k výrazným změnám polohy a usazení řidiče na sedačce, kdy se řidič snaží o znovunalezení vhodné a pohodlné

pozice a případně se protahuje. Kolem páté minuty měření dochází k uklidnění řidiče a křivky všech senzorů nevykazují výraznější změny, až na křivku šestého zádového senzoru, která v průběhu času mírně stoupá. Stoupání křivky šestého zádového senzoru je způsobeno postupným zvětšováním tlaku na tento senzor z důvodu povolování posturálních svalů a uvolňování postoje řidiče.

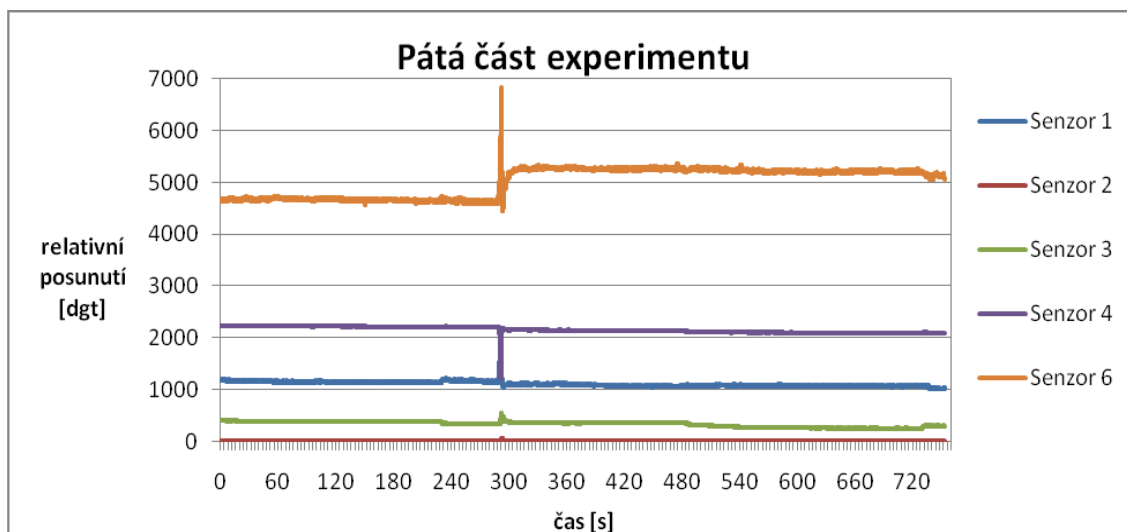


Graf 22: Náhlé probuzení řidiče [29]

Na Graf 23 jsou zobrazeny křivky výstupních hodnot prvního až šestého tlakového senzoru kromě křivky pátého senzoru, která vlivem šumu a rušivého vlivu při interpretaci ostatních křivek senzorů musela být odstraněna. Tato poslední dvanáctiminutová část experimentálního měření může být rozdělena na dvě části. V první asi petiminutové části dochází k velmi mírnému uvolňování těla řidiče, kdy jsou křivky prvního až šestého senzoru s výjimkou pátého senzoru velmi klidné a bez větších výchylek. Kolem páté minuty však dochází ke znovuposazení řidiče do pohodlnější pozice, což se na křivkách grafu velmi výrazně projevuje. Nejvýrazněji se tato pohybová aktivita řidiče projevila u křivky šestého zádového senzoru, která velmi výrazně a příkře stoupá o více než 2000 digitů. Také křivky druhého senzoru pravé ruky a třetího senzoru levé ruky vykazuje kladnou výchylku, avšak v porovnání s výchylkou křivky šestého zádového senzoru jsou téměř zanedbatelné.

Při zpětně rekonstrukci však z těchto tří výše zmíněných křivek může být sestavena reálná pohybová aktivity horní části řidičova těla, kdy se řidič velmi výrazně opřel trupem do sedačky. Pro doplnění rekonstrukce reálné pohybové aktivity řidiče je nutné si ještě povšimnout křivky čtvrtého senzoru pravé nohy, která velmi příkře

poklesla a znovu se vrátila na zhruba původní hodnoty. Tato výstupní data popisují buď sešlápnutí pravé nohy spolu s výrazným opřením řidiče, nebo spíše nadzvednutí řidiče ze sedačky a znovuposazení s výraznějším tlakem na zadní část sedačky. Druhé možnosti více odpovídá závěrečná část grafu, kdy se po této pohybové aktivitě řidiče viditelně zvýšily hodnoty křivky šestého zádového senzoru. Toto zvýšení hodnot křivky šestého zádového senzoru v druhé asi sedmiminutové části experimentálního měření je výsledkem zvýšeného tlaku na šestý zádový senzor, což potvrzuje lepší posazení řidiče v sedačce a kvalitnější postoj těla řidiče po znovuposazení. Křivky ostatních senzorů nevykazují větší změny či výchylky po zbylý čas měření, což umožňuje dobře sledovat dechovou aktivitu bdělého řidiče.



Graf 23: Znovuposazení řidiče [29]

5 Výstup bakalářské práce

Při ověřování funkce a vhodnosti páskových tlakových NiTi senzorů jsem zjistila, že umístění některých senzorů na sedačce není zcela vhodné vzhledem k nutnosti kvalitního a dostatečného kontaktu s tělem řidiče, čímž způsobená výrazná nereaktivita některých senzorů z důvodu nedostatečného kontaktu těla se senzory v místě umístění senzorů. Pro umožnění kvalitního a smysluplného průběhu dalšího měření byly senzory přesunuty, jak již bylo popsáno v kapitole 4.1. Po přemístění senzorů do vhodnějších pozic na sedačce byla zahájena jednotlivá experimentální měření, při kterých bylo nutné zjistit, zda je možné kvalitně snímat reálnou dechovou i pohybovou aktivitu řidiče. Při měření pohybové aktivity řidiče při řízení, pro kterou jsem vytvořila systém po sobě následujících běžných úkonů řidiče, který jsem následně měřila na experimentálním zařízení se šesti pásovými tlakovými NiTi senzory, bylo zjištěno, že všechny tlakové NiTi senzory velmi dobře reagují na různorodé úkony řidiče a že jsou jednotlivě i komplexně schopny velmi dobře snímat běžné úkony řidiče. Také je možno zpracovat výstupní hodnoty senzorů do grafů v programu Microsoft Excel a zpětně z těchto grafů vyčíst reálnou pohybovou aktivitu řidiče.

Po zpracování dat o pohybové aktivitě řidiče při simulované jízdě a vytvoření grafů z těchto výstupních hodnot relativního posunutí v čase v programu Microsoft Excel bylo možné vytvořit z těchto dat zpětnou rekonstrukci reálné pohybové aktivity řidiče. Při interpretaci křivek jednotlivých senzorů jsem zjistila, že pro kvalitní a co nejpřesnější zpětné sestavení celkové pohybové aktivity řidiče při jízdě v daném úseku je potřeba zkombinovat a interpretovat ne jednu samostatnou křivku jednoho senzoru, ale více či dokonce všechny křivky s výstupními hodnotami prvního až šestého senzoru, protože jediné kombinací samostatných interpretací jednotlivých křivek či hodnot je možné získat reálný celkový přehled o celkové pohybové aktivitě řidiče. Po tomto zpětném sestavení pohybových úkonů řidiče při simulované jízdě z grafů výstupních hodnot prvního až šestého tlakového senzoru je možné říci, že experimentální zařízení s 6 tlakovými páskovými NiTi senzory je schopné získat adekvátní data, která o této pohybové aktivitě kvalitně vypovídají, a tímto i snímat reálnou pohybovou aktivitu řidiče při simulované jízdě v reálném čase. Je také možné pomocí analýzy výstupních dat zpětně vyhodnotit pohybovou aktivitu řidiče a následně tuto sestavenou pohybovou aktivitu porovnat s reálnou pohybovou aktivitou řidiče při simulované jízdě, přičemž

výsledky mého měření ukazují, že se pohybová aktivita vyhodnocená z výstupních dat senzorů shoduje s reálnou pohybovou aktivitou řidiče.

Při měření simulované dechové aktivity (viz podkapitolu 4.2.2) v další části mého experimentálního měření jsem sledovala reaktivitu jednotlivých senzorů na různou dechovou aktivitu řidiče při původním rozmístění senzorů a poté při uložení senzorů do ochranného potahu. V obou případech umístění senzorů se experimentální zařízení osvědčilo ve schopnosti kvalitně a dostatečně snímat jakoukoli dechovou aktivitu řidiče minimálně jedním ze šesti senzorů experimentálního zařízení. Jako nejlepší a nejkvalitnější senzor dechové aktivity se ukázal šestý zádový senzor, jehož křivka po grafické úpravě v programu Microsoft Excel u všech simulovaných dechových aktivit velmi dobře popisuje reálnou dechovou aktivitu. Nicméně ostatní senzory jsou také velmi dobře schopné snímat různorodou dechovou aktivitu a při poruše šestého zádového senzoru jsou více než schopné zastat jeho funkci. Nejméně reagují a popisují reálnou dechovou aktivitu především senzory dolních končetin a u většího řidiče tuto nedostatečnost vykazuje i první bederní senzor, který s tělem většího řidiče není v dostatečném kontaktu. Z výsledků měření jsou také dobře patrné rozdíly mezi dechovou aktivitou ženy řidičky a muže řidiče, avšak průměrné hodnoty jednotlivých typů dechů jsou v určitých mezích hodnot, což umožňuje dobré rozlišení jednotlivých typů dechů.

Díky Tabulka 1 v podkapitole 4.2.3, na které je zobrazen přehled rozsahů mezi hodnotami největších nádechů a hodnotami největších výdechů v digitech při různých dechových aktivitách, je možné tvrdit, že senzory jsou velmi dobře schopny snímat hloubku dechu, její frekvenci a amplitudu i aktuální změny jako např. apnoe. Při zpětné rekonstrukci je navíc možné dle hodnot a předchozích zkušeností z měření určit typ dechu a dokonce i pohlaví či fyzickou kondici jedince reprezentovanou např. plicní kapacitou a objemem plic.

Při poslední části mého experimentálního měření, ve které jsem se zabývala sledováním fyzického stavu řidiče při dlouhodobém sezení řidiče na sedačce v klidu s minimálními pohyby, vyšlo najevo, že senzory nejen že velmi dobře reagují na jednotlivé pohyby a z graficky zpracovaných hodnot je možné velmi kvalitně zpětně zrekonstruovat reálnou pohybovou aktivitu, že pokud se řidič výrazněji nehýbe, tak lze kvalitně snímat i dechovou aktivitu, ale že senzory jsou schopny zachytit dokonce uvolňování svalů a postoje těla, která může naznačovat únavu a může předcházet mikrosnánku. Navíc se povedlo během tohoto měření snímat fyzickou aktivitu řidiče,

který usnul a byl náhle probuzen, což vyvolalo značně zajímavé a důležité hodnoty na výstupech prvního až šestého senzoru. Je možné z těchto výsledků usoudit a tím i potvrdit závěry z literatury (viz podkapitolu 2.1 a podkapitolu 2.2), že při náhlém probuzení řidiče řidič jedná zmatečně, celkové trhne trupem, horními končetinami, což způsobí nechtěné a nepředvídatelné pohyby vozidla, a dolními končetinami, což by v případě držení pravé nohy na pedálu plynu mohlo způsobit náhlé a výrazné zrychlení vozidla. Kombinace těchto následků náhlého probuzení by mohly napomoci či dokonce způsobit dopravní nehodu.

5.1 Praktický výstup

Na Graf 1 a Graf 2, na kterých jsou zaznamenány křivky prvního až šestého tlakového senzoru při simulaci jednotlivých úkonů řidiče při řízení popsaných v podkapitole 4.2.1, můžeme sledovat všechny testované pohyby při daných úkonech řidiče, z čehož je možné usoudit, že tyto senzory jsou schopné snímat celou škálu pohybů řidiče od otáčení volantem doprava a doleva, přes brzdění, přidávání plynu, zapínání bezpečnostního pásu, po předklonění či otočení trupu ve směru k zadním sedačkám. Bylo by proto možné, aby v budoucnu jeden z již funkčních systémů varování řidiče (viz kapitolu 3.1) spolupracoval a vyhodnocoval data z tohoto experimentálního zařízení a upozornil řidiče, pokud by to bylo zapotřebí z různorodých důvodů, např. z důvodů uvedených v kapitole 2, které mohou být snímány buď pohybovou aktivitou či dechovou aktivitou řidiče (viz podkapitolu 4.2.2 a podkapitolu 4.2.3).

Řidič by tak mohl být upozorněn na možné zdravotní komplikace, které jsou již zaznamenatelné senzory, nebo už začínají ovlivňovat kvalitu jízdy, jako např. začínající hypoglykemické křeče končetin, únava, usínání, či srdeční a dechové komplikace. Také by bylo možné díky sensorům rozeznat, zda za volantem sedí dospělý člověk, a proto by se značně omezily případy, kdy by malé děti ve věku do deseti let mohly nastartovat auto a vyjet na silnici. Výstupy z tohoto experimentálního zařízení, které by se uchovávaly po libovolně dlouhou dobu, by mohly být použity jako „černá skříňka“, ze které by bylo možné po nehodě vyčíst, co se dělo, jak se řidič reálně zachoval, a tím by se usnadnila práce při vyšetřování dopravních nehod.

Vzhledem k tomu, že řešení této problematiky pomocí experimentálního zařízení (viz kapitulu 3.2) je poměrně brzkého data a že předběžná měření celkově a uceleně popsaná v této bakalářské práci se ukázala být použitelnými a vhodnými k dalšímu zkoumání, by bylo vhodné provést další specializovaná měření, která by mohla více upřesnit či dokonce rozšířit pole působnosti a užitnosti páskových tlakových NiTi senzorů v praxi pro monitoraci fyzického stavu řidiče

6 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo ověření funkce a vhodnosti, případně i vhodného umístění a reakčnosti tlakových NiTi senzorů v sedadle, hledání souvislostí s fyzickou kondicí řidiče, získávání dat z experimentálního zařízení, které obsahuje šest páskových tlakových nikl titanových senzorů umístěných na sedačce a v potahu a které bylo popsáno v kapitole 3.2, následná analýza a grafická úprava získaných dat, pro přehlednost a usnadněnou zpětnou interpretaci upravených do podob grafů v programu Microsoft Excel, vypovídajících o fyzickém stavu řidiče a vyhodnocení pohybové aktivity řidiče, především dechové frekvence a pohybu svalstva vzhledem k získaným datům. Konečným cílem této bakalářské práce bylo vyhodnocení a shrnutí výsledků experimentu a vytvoření závěrů z měření, případně doporučení pro další výzkum.

Měření bylo rozděleno na 3 části: měření pohybové aktivity řidiče při řízení, měření dechové aktivity řidiče a měření fyzického stavu řidiče při dlouhodobém měření. Všechna měření byla provedena bez větších obtíží a pro detailní a důkladný popis byla náhodně vybrána některá opakovaná měření, ačkoli při měření fyzického stavu řidiče při dlouhodobém měření došlo k poruše kontaktu pátečního senzoru levé nohy, čímž se znemožnila zpětná interpretace hodnot křivky tohoto senzoru.

Tlakové nikl titanové senzory se v průběhu měření a především po úpravě, analýze a zpětné interpretaci dat ze senzorů ukázaly jako kvalitní způsob monitorace fyzického stavu řidiče, především pohybové i dechové aktivity jedince. Z důvodu úspěšného ověření jejich funkce i vhodnosti pro monitoraci fyzického stavu řidiče a dle pozitivních výsledků získaných v průběhu experimentálních měření mohu doporučit toho experimentálního zařízení k dalšímu testování a měření.

Seznam bibliografických citací:

- [1] TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. Snímač tlaku/síly. Vynálezci: Jaroslav Hanuš a spol. Česká Republika. Patentová přihláška PV2013-976.
- [2] KREIDL, Marcel a Radislav ŠMÍD. Technická diagnostika: senzory - metody - analýza signálu. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 408 s. ISBN 80-7300-158-6.
- [3] POSPÍŠILOVÁ, Blanka a Olga PROCHÁZKOVÁ. Anatomie pro bakaláře I: obecná anatomie, systémy pohybové a orgánové. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2010, 155 s. ISBN 978-80-7372-675-1,
- [4] Janda, Vladimír (1982): Základy kliniky funkčních (neparetických) hybných poruch. Brno: Ústav pro další vzdělávání středních zdravotnických pracovníků
- [5] RIPKA, Pavel. Senzory a převodníky. 2.vyd. V Praze:České vysoké učení technické, 2011,136 s. ISBN 978-80-01-04696-8.
- [6] VÉLE, František. Kineziologie: přehled klinické kineziologie a patokineziologie pro diagnostiku a terapii poruch pohybové soustavy. 2., rozšířené a přepracované vyd. Praha: Triton, 2007. ISBN 978-807-2548-378.
- [7] LANGMEIER, Miloš. Základy lékařské fyziologie. 1. vyd. Praha: Grada, 2009, 320 s. ISBN 978-80-247-2526-0.
- [8] NEČAS, Emanuel. Obecná patologická fyziologie. 3. vyd. Praha: Karolinum, 2009, 377 s. ISBN 978-80-246-1688-9.
- [9] ŠIRŮČKOVÁ, Marie Dominika. Diabetes mellitus 1.typu [online]. 2011 [cit. 2014-02-19]. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Pedagogická fakulta. Vedoucí práce Ilona Fialová. Dostupné z: http://is.muni.cz/th/84487/pdf_b/.
- [10] CHROMÍKOVÁ, Katarína. Sekundární prevence po infarktu myokardu [online]. 2009 [cit. 2014-02-09]. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Lékařská fakulta. Vedoucí práce Marta Šenkyříková. Dostupné z: http://is.muni.cz/th/214711/lf_b/.
- [11] HOŠEK, Roman Systém pro sledování únavy řidiče: diplomová práce. BRNO: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2012. 60 s. Vedoucí práce Ing. Radek Beneš.
- [12] VYŠKOVSKÝ, Daniel. Respirace při poklesu úrovně bdělosti: bakalářská práce. Brno:Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních

- technologií. Ústav biomedicínského inženýrství, 2011. 46 s. Vedoucí práce Janoušek, Oto.
- [13] BAROŠOVÁ, Anna. Fyziologie spánku. Bakalářská práce. Brno: MASARYKOVA UNIVERZITA V BRNĚ. PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA. Ústav experimentální biologie, 2007. 35 s. Vedoucí práce RNDr. Martin Vácha, Ph.D.
- [14] JOSIEK, R. Paměťové materiály. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 31 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Eva Novotná, Ph.D., Paed IGIP.
- [15] WEST, John B. Respiratory physiology: the essentials. 9th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams, 2012, viii, 200 p. ISBN 16-091-3640-3,
- [16] EDITED BY PAVEL RIPKA, ALOIS TIPEK. Master books on sensors: modular courses on modern sensors Leonardo da Vinci project CZ/PP-134026. Praha: BEN - technical literature, 2008, 1 sv. (různé stránkování). ISBN 80-730-0129-2.
- [17] EDITED BY MARIA T. SCHULTHEIS, Edited by Maria T. John DeLuca. Handbook for the assessment of driving capacity. 1st ed. Amsterdam: Academic Press/Elsevier, 2009, 256 s. ISBN 978-012-6312-553.
- [18] CHOKROVERTY, Sudhansu a Robert J THOMAS. Atlas of sleep medicine. Second edition. Philadelphia: Elsevier, 2013, p. 416. ISBN 978-145-5712-670.
- [19] Health science degree: The walking dead - dangers of sleep deprivation [online]. [cit. 2013-10-31]. Dostupné z: <http://www.health-science-degree.com/sleep/>
- [20] The SleepCare Center at RWJ Hamilton: Sleep Deprivation Affects Safe Driving. RWJ University hospital Hamilton [online]. [cit. 2013-10-31]. Dostupné z: http://www.rwjhamilton.org/pages/qHealthSleepCare_Driving.aspx.
- [21] SAJDL, Jan. Mikrospanek. Autolexicon.net [online]. 2013 [cit. 2014-01-02]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/mikrospanek/>
- [22] Public roads: Featuring developments in Federal highway policies, programs, research and technology. [online]. [cit. 2013-10-31]. Dostupné z: <http://www.fhwa.dot.gov/publications/publicroads/99janfeb/effects.cfm>
- [23] Drowsydriving.org: Warning signs [online]. [cit. 2013-10-31]. Dostupné z: <http://drowsydriving.org/about/warning-signs/>,
- [24] National Sleep Foundation. Drowsy driving [online]. 2013 [cit. 2014-02-15]. Dostupné z: <http://www.sleepfoundation.org/article/sleep-topics/drowsy-driving>

- [25] OVIDIU, Capra. ZerCustoms. Volvo Driver Alert Control and Lane Departure Warning [online]. [cit. 2014-02-15]. Dostupné z:
<http://www.zercustoms.com/news/Volvo-Driver-Alert-Control-and-Lane-Departure-Warning.html>
- [26] VOLKSWAGEN, Volkswagen Driver Alert System [online]. 2006 [cit. 2014-02-15]. Dostupné z: <http://www.volkswagen.co.uk/technology/passive-safety/driver-alert-system>
- [27] Mereni_20_11a.xlsx, které se nachází na přiloženém CD, ve složce Měřená data
- [28] Mereni_20_11b.xlsx, které se nachází na přiloženém CD, ve složce Měřená data
- [29] Mereni_20_11c.xlsx, které se nachází na přiloženém CD, ve složce Měřená data
- [30] Mereni_15_1_Janca.xlsx, které se nachází na přiloženém CD, ve složce Měřená data
- [31] Mereni_29_1_Pepa_a.xlsx, které se nachází na přiloženém CD, ve složce Měřená data
- [32] malý vs velký řidič.xlsx, které se nachází na přiloženém CD, ve složce Měřená data

Seznam příloh

Příloha A: Compact Disk

- CD je přiloženo na zadní straně desek bakalářské práce
- CD obsahuje zdrojová data a soubory, které byly v této bakalářské práci použity, a také tuto bakalářskou práci

Obsah přiloženého CD

- Měřená data
 - Mereni_20_11a.xlsx
 - Mereni_20_11b.xlsx
 - Mereni_20_11c.xlsx
 - Mereni_15_1_Janca.xlsx
 - Mereni_29_1_Pepa_a.xlsx
 - malý vs velký řidič.xlsx
- Text bakalářské práce
 - Bakalářská_práce_2014_Tesárková_Veronika.doc
 - Bakalářská_práce_2014_Tesárková_Veronika.pdf
 - Zadání_BP_kopie_Tesárková_Veronika_2014.pdf
 - Kopie_žádosti_o_změnu_zadání_BP_Tesárková.jpg